

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

Fakulta strojní



**POROVNÁNÍ KOEFICIENTU TŘENÍ  
ZJIŠŤOVANÉHO PŘI TRIBOLOGICKÉM TESTU  
ZA RŮZNÝCH PODMÍNEK REGULACÍ TLAKU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

## **Fakulta strojní**

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie  
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů

### **POROVNÁNÍ KOEFICIENTU TŘENÍ ZJIŠŤOVANÉHO PŘI TRIBOLOGICKÉM TESTU ZA RŮZNÝCH PODMÍNEK REGULACÍ TLAKU**

### **COMPARISON OF FRICTION COEFFICIENT MEASURED BY TRIBOLOGICAL TESTING UNDER DIFFERENT PREASURE REGULATION**

**Ladislav Kohout**  
**KSP - TP - 784**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D. – TU v Liberci

Konzultant diplomové práce: Ing. Jiří Sobotka – TU v Liberci

#### Rozsah práce a příloh:

Počet stran	84
Počet tabulek	11
Počet příloh	19
Počet obrázků	43
Počet grafů	8

Datum: 25.5.2007



# ANOTACE

## TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

### Fakulta strojní

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství

Diplomant: Ladislav Kohout

Téma práce: POROVNÁNÍ KOEFICIENTU TŘENÍ ZJIŠŤOVANÉHO  
PŘI TRIBOLOGICKÉM TESTU ZA RŮZNÝCH  
PODMÍNEK REGULACÍ TLAKU  
COMPARISON OF FRICTION COEFFICIENT  
MEASURED BY TRIBOLOGICAL TESTING UNDER  
DIFFERENT PREASURE REGULATION

Číslo DP: KSP - TP - 784

Vedoucí DP: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D. – TU v Liberci

Konzultant: Ing. Jiří Sobotka – TU v Liberci

#### Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá u tribologického testu problematikou zjišťování vlivu diskrétního a spojitého nárůstu tlaku na vlastnosti lisované součásti u rozdílných typů materiálů a rychlostí, které se používají v konstrukci karoserie automobilu. V teoretické části jsou popsány výhody a použití jednotlivých druhů tribologických zkoušek, které navozují skutečný průběh lisovacího procesu. V experimentální části jsou realizovány zkušební testy dle příslušných zkušebních metod a jejich hodnocení je provedeno z hlediska mechanických vlastností na základě vypočteného koeficientu tření stanoveného jako kritérium výsledků testů jednotlivých metodik.

#### Abstract:

A dissertation deals with a tribological test and its problems of an influence of discreet and continuous pressure increase on properties of parts used in construction of automobile carosserie and made form different material and pressed with different speed. A teoretical part of the dissertation describes advantanges and the usage of each type of the tribological test, which induces real progress of the pressing process. An experimental parts describes performed experimental test according to relevant testing methods. Tests are evaluated in the mechanical properties terms on the basis of calculated coefficient of friction defined as a criterion of the test results of each method.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 25. května 2007

.....  
Ladislav Kohout  
Boženy Němcové 79/15  
460 01 Liberec

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Michaelae Kolnerové, Ph.D. za odbornou pomoc při vypracování teoretické a experimentální části, za cenné připomínky a podněty poskytnuté během vypracovávání zvoleného tématu. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Sobotkovi za poskytnutí potřebných informací a odbornou pomoc.

## **OBSAH**

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</b>	<b>8</b>
<b>1. ÚVOD</b>	<b>10</b>
<b>2. TEORETICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE</b>	<b>12</b>
2.1. TAŽENÍ	12
2.1.1. CHARAKTERISTIKA TAŽENÍ VÝLISKŮ	12
2.1.2. VLIV PARAMETRŮ NA PROCES HLUBOKÉHO TAŽENÍ	12
2.1.2.1. VLIV PŘIDRŽOVACÍHO TLAKU	13
2.1.2.2. VLIV RYCHLOTI TAŽENÍ	13
2.1.2.3. VLIV MAZÁNÍ	14
2.1.3. TAŽENÍ VÝLISKŮ NEPRAVIDELNÝCH TVARŮ	14
2.1.4. PLECHY POUŽÍVANÉ NA KAROSÁŘSKÉ VÝLISKY	16
2.1.4.1. ELEKTROLITICKY POZINKOVANÉ PLECHY (PLECHY EG)	17
2.1.4.2. ŽÁROVĚ POZINKOVANÉ PLECHY (PLECHY HDG)	19
2.2. VÝZNAM TRIBOLOGIE	20
2.2.1. TRIBOLOGIE	21
2.2.1.1. INTERAKCE POVRCHŮ	21
2.2.1.2. VZNIK TŘENÍ A OPOTŘEBENÍ	23
2.2.1.3. DRUHY TŘENÍ	24
2.2.1.3.1. SUCHÉ TŘENÍ	25
2.2.1.3.2. MEZNÉ TŘENÍ	25
2.2.1.3.3. HYDRODYNAMICKÉ TŘENÍ	26
2.2.1.3.4. SMÍŠENÉ TŘENÍ	27
2.2.1.4. VLIV TŘENÍ NA PROCES HLUBOKÉHO TAŽENÍ	28
2.2.1.5. HODNOCENÍ GEOMETRIE POVRCHU	30
2.2.1.5.1. MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU	30
2.2.1.5.2. HODNOCENÍ POVRCHU Z HLEDISKA TRIBOLOGIE	32
2.2.1.6. TRIBOLOGICKÉ ZKOUŠKY	34
2.2.1.6.1. MODELOVÁNÍ TŘENÍ MEZI PŘIDRŽOVAČEM A TAŽNICÍ	35
2.2.1.6.2. DALŠÍ HLAVNÍ ZPŮSOBY TRIBOLOGICKÝCH ZKOUŠEK	35
2.2.1.6.3. OSTATNÍ ZPŮSOBY TRIBOLOGICKÝCH ZKOUŠEK	36
2.3. VÝZNAM MAZIV	37
2.3.1. MAZIVA PRO TVÁŘENÍ KOVŮ	37
2.3.1.1. MAZIVA PRO TVÁŘENÍ HLUBOKOTAŽNÝCH PLECHŮ	37
2.3.2. NANÁŠENÍ MAZIV	39
2.4. VÝZNAM NÁSTROJE	41
2.4.1. PŘIDRŽOVAČE	43



2.4.1.1. BRZDNÉ LIŠTY	46
2.4.2. ZVLNĚNÍ	49
2.4.3. REGULACE TLAKU	50
<b>3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE</b>	<b>52</b>
3.1. POPIS MĚŘÍČÍHO ZAŘÍZENÍ PRO TRIBOLOGICKÉ ZKOUŠKY	53
3.2. PRINCIP ZKOUŠKY	56
3.3. ZPŮSOB VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY	56
3.4. PODMÍNKY ZKOUŠKY	57
3.4.1. POUŽITÝ NÁSTROJ	58
3.4.2. POUŽITÝ TESTOVANÝ SUBSTRÁT	58
3.4.3. MĚŘENÍ MIKROGEOMETRIE NÁSTROJE A VZORKŮ	60
3.4.4. POUŽITÉ MAZIVO	60
3.4.5. RYCHLOST POSUVU	61
3.4.6. TEPLOTA NÁSTROJE	61
3.4.7. KONTAKTNÍ TLAK	61
3.4.8. VARIANTA TRIBOLOGICKÉ ZKOUŠKY	61
3.5. PŘÍPRAVA VZORKŮ	62
3.5.1. NASTŘÍHÁNÍ PLECHŮ NA VZORKY	62
3.5.2. OZNAČENÍ VZORKŮ	62
3.5.3. ODMAŠTĚNÍ PLECHŮ	62
3.5.4. NANESENÍ POŽADOVANÉ VRSTVY MAZIVA	62
3.5.4.1. ZAŘÍZENÍ NA MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ MAZIVA	63
3.6. VLASTNÍ MĚŘENÍ	64
3.7. NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY	66
3.8. ROZBOR KOEFICIENTU TŘENÍ	70
<b>4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ</b>	<b>76</b>
<b>5. ZÁVĚR</b>	<b>78</b>
<b>6. SEZNAM LITERATURY</b>	<b>83</b>
<b>7. SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>84</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Rozměr	Význam
$a_H$	mm	poloměr kruhového vtisku
$b$	nm	šířka pásku
$c$		materiálová konstanta
$D$	MPa	modul plasticity
$d_0$	mm	průměr přístřihu
$E'$	MPa	redukovaný modul pružnosti materiálu
$E_0$	MPa	plastický modul zvlnění
$E_1, E_2$	MPa	Youngův modul pružnosti
EG		elektrolyticky pozinkovaný plech
$f$	Hz	frekvence snímání dat
$F_0$	N	síla na plastický ohyb
$F_d$	N	deformační síla na plastické přetvoření
$F_h$	N	velikost maximální síly v ustálené části
$F_{max}$	N	maximální síla
$F_{min}$	N	minimální síla
$F_N$	N	normálová síla
$F_p$	N	přidržovací síla
$F_s$	N	střední síla
$F_t$	N	celková třecí síla
$F_T$	N	tažná síla
$\Delta F$	N	velikost rozkmitu sil
$H$	MPa	tvrdost materiálu
$h$	mm	tloušťka vrstvy maziva
HDG		žárově pozinkovaný plech
$k$		materiálová konstanta
$L_{mez}$	mm	mezni délka pásku pro určení sil
$l_1$	mm	délka pásku pro zk. diskrétního nárůstu tlaku
$l_2$	mm	délka pásku pro zk. spojitého nárůstu tlaku
$l_p$	mm	délka měřeného úseku protahovaného pásku
$l_r$	mm	základní délka
$p$	Pa	přidržovací tlak
$p_1, p_2$	Pa	tlak v místě pro rychlost svařovací vlny
$p_m$	Pa	střední kontaktní tlak
$p_{max}$	Pa	Hertzův tlak
$P_t$	$\mu m$	hloubka profilu
$r$	mm	okamžitý poloměr
$R_a$	$\mu m$	střední aritmetická hodnota drsnosti
$R_k$	$\mu m$	základní hloubka profilu jádra drsnosti
$R_m$	MPa	smluvní mez pevnosti materiálu
$R_{max}$	$\mu m$	maximální výška profilu
$RP_c$	$cm^{-1}$	počet výstupků
$R_v$	$\mu m$	redukovaná hloubka rýh

Rz	$\mu\text{m}$	výška nerovností
S	$\text{mm}^2$	činná plocha styku
s		směrodatná odchylka výběru
$S_H$	$\text{mm}^2$	plocha kruhového vtisku
$S_N$	$\text{mm}^2$	průmět kluzné plochy
spr	mm	tloušťka pásku
$S_r$	$\text{mm}^2$	skutečná plocha styku
T	$^{\circ}\text{C}$	teplota
$t_0$	mm	tloušťka přístřihu
v	$\text{ms}^{-1}$	rychlost pohybu
$\underline{v}t$	$\text{ms}^{-1}$	rychlost posuvu
x		aritmetický průměr hodnoty
$\eta$	Pa.s	dynamická viskozita
$\mu$		koeficient tření
$\rho$	MPa	hustota materiálu
$\sigma_e$	MPa	mez pružnosti měkkého povrchu
$\sigma_r$	MPa	radiální napětí
$\sigma_t$	MPa	obvodové tlakové napětí
$\varphi$		logaritmická deformace
C		uhlík
Cu		měď
Mn		mangan
Mo		molybden
Ni		nikl
O		kyslík
P		fosfor
Pb		olovo
S		síra
Si		křemík
Zn		zinek
TPCA		Toyota Peugeot Citroën Automobile

## 1. ÚVOD [1, 2]

V České republice je na základě výsledků Sdružení automobilového průmyslu ČR prezentován automobilový průmysl jako dominantní odvětví v české ekonomice.

Dominanci má na svědomí automobilka Škoda Auto, a.s. s přispěním kolínského TPCA. Škoda Auto v roce 2006 vyrobila 556 347 vozů (meziroční nárůst 12,6%) TPCA v roce 2006 vyrobilo 293 650 automobilů (meziroční nárůst 182,8%). Jako třetí největší automobilový výrobce v pořadí bude nošovický Hyundai. Hyundai již zahájil výstavbu průmyslového areálu, který bude dokončen v roce 2009. V roce 2009 tedy v prvním roce produkce opustí výrobní linky v Nošovicích 300 000 vozů.

Automobilky počítají samozřejmě do budoucna s navyšováním produkce a toho se dá docílit jen s rozšiřováním výrobních řad automobilů a inovací stávajících. Každý model musí být od konkurence designově a technicky odlišný a také přinést na trh něco nového, aby zaujal potenciálního zákazníka. Doba si žádá stále nové a tvarově náročnější tvary karosérií automobilů, s tím je spjatá problematika technologie výroby rozměrných nepravidelných výlisků z plechů.

Výlisky nepravidelných tvarů jsou mnohem více náročné na proces tažení než hluboké tažení rotačních výlisků, neboť mají členitější povrch a nerovnoměrnou hloubku tažení. Od karosářských výlisků jsou vyžadovány zvýšené požadavky na rozměrovou přesnost, jakost povrchu a tuhost výrobku. Při tažení výlisků nepravidelných tvarů je nutné v oblasti přidržovače a tažné hrany pro dosažení rovnoměrné tvarování a tuhost výlisku místní brzdění plechu. Pro kvalitní výlisek je důležitá funkce přidržovače pro celkové nebo místní zvýšení tlaku, aby nedocházelo k vzniku zvlnění (viz kap.:5.) konečného výlisku.

V souvislosti s uvedenými skutečnostmi, týkajícími se správné funkce nástroje tedy zajištění nastavení vstupních technologických parametrů přidržovače, konkrétně přidržovacího tlaku při tažení, je cílem diplomové práce porovnání dvou metodik regulací tlaku. Jejich experimentální porovnání bylo provedeno tribologickými laboratorními testy na katedře strojírenské technologie, kde probíhá aplikovaný výzkum v rámci společného



projektu „**In-TECH**” mezi Technickou univerzitou v Liberci a naším předním českým výrobcem automobilů Škoda Auto, a.s. jako partnerem tohoto projektu. Výzkum se zabývá konkrétními technologickými problémy přímo z průmyslové praxe, z oblasti tváření nepravidelných dílů pro karoserie automobilu a zadání tématu tedy vycházelo z praktických poznatků tribologických dějů vyskytujících se při tažení výlisků, neboť při tváření se v nástroji v oblasti přidržovače může vyskytovat diskrétní či spojitý nárůst tlaku. I ostatní podmínky experimentálního měření (rychlost, teplota, substráty, mazivo) odpovídaly reálným podmínkám provozu, neboť zadání diplomové práce bylo řešeno ve spolupráci Škoda Auto, a.s. Mladá Boleslav.

Úkolem tribologického testování provedeného za daných podmínek na dvou substrátech (EG, HDG) bylo zjistit rozdíly v působení diskrétního a spojitého nárůstu tlaku pomocí vypočteného koeficientu tření, který se stal kritériem v posuzování obou metodik regulací tlaku.

Koeficient tření je jedním, z rozhodujících technologických parametrů při lisování a významně ovlivňuje vzájemnou interakci soustavy „nástroj – plech”. Na velikost součinitele tření má vliv mnoho konstrukčních a technologických faktorů, mezi nejvýznamnější patří (materiál nástroje, způsob jeho opracování v souvislosti s mikrogeometrií, tvářený materiál, jeho morfologie, vlastnosti a typ případné povrchové vrstvy, rychlost tažení, kontaktní tlak, mazivo atd.) Diplomová práce tak řeší jen dílčí část problematiky tribologických dějů v oblasti tažení karosářských výlisků.

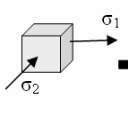
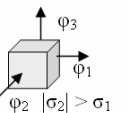
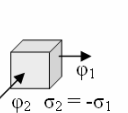
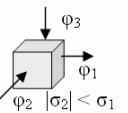

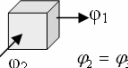
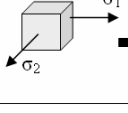
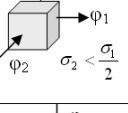
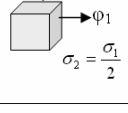
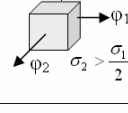
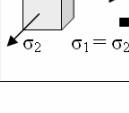
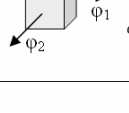
## 2. TEORETICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE

### 2.1. TAŽENÍ [3, 4, 5, 6]

#### 2.1.1. CHARAKTERISTIKA TAŽENÍ VÝLISKŮ

Tažení je technologická operace plošného tváření plechu za studena, kdy z rovinných přístřihů vznikají prostorové součástky nerozvinutelných tvarů. Tažení je proces, u kterého dosahujeme požadovaného tvaru výlisku, aniž by došlo k výrazné změně tloušťky výchozího materiálu. Při tažení se obecně uplatňují rovinné stavy napjatosti a přetvoření patrné z obr.2.1..

Zvláštní oblastí zpracování tenkých plechů je tažení výlisků karosářského typu. Jednotlivé případy uvedené na obr.2.1. se vyskytují v oblasti přidržovače (1), v okrajových oblastech plechu výlisku se mohou vyskytovat i stavy blízké jednoosému tahu (2). Na převážné části povrchu tvářeného materiálu je však dvojosá tahová napjatost (3). Schéma napjatosti a přetvoření (4) odpovídá procesu vypínání a lze ho považovat za hraniční případ stavu (3).

	napjatost	přetvoření
1		  
2		 $\varphi_2 = \varphi_3 = -\frac{\varphi_1}{2}$
3		  
4		 $\varphi_1 = \varphi_2 = -\frac{\varphi_3}{2}$

Obr. 2.1.: Stavy napjatosti a přetvoření při tažení výlisků

#### 2.1.2. VLIV PARAMETRŮ NA PROCES HLUBOKÉHO TAŽENÍ [5,7]

Tažení plechu (rovinného přístřihu plechu) na tvarově a prostorově složitý výtažek probíhá v konkrétním nástroji, na předem určeném lise a při

předem určených technologických podmínkách. Kromě vlivu taženého materiálu na úspěšný výsledek operace je nezbytné brát v úvahu také vliv konkrétních podmínek tažení. Hlavní vliv na výsledek konečné kvality hotového výlisku mají podmínky, v kterých probíhá proces tažení na lise, z doposud provedených výzkumů vyplývá, že vlastní tažení a mezní přetvoření při tažení ovlivňují zejména tyto faktory:

- přidržovací tlak
- rychlost tažení
- mazání

#### **2.1.2.1. Vliv přidržovacího tlaku**

Přidržovací tlak je vyvozen v přidržovači. Úkolem přidržovače je během procesu tažení zabránit tvorbě vln v oblasti příruby. Aby mohl přidržovač tuto funkci plnit, musí vyvinout na materiál takový tlak, aby k tomuto zvlnění příruby nedocházelo. Tlak v žádném případě nesmí překročit takovou hodnotu tlaku, aby nedošlo k výraznému zvýšení třecích sil, které by způsobily porušení výtažku. Největší problém je určit správnou velikost přidržovacího tlaku u složitých výtažků, poněvadž tlak je rozdílný v rohu výtažku, rovné části a i v přechodové části výtažku.

#### **2.1.2.2. Vliv rychlosti tažení**

Problematika zjištění správné rychlosti tažení je neustále řešena na mnohých vědeckých pracovištích, neboť v současné době jsou v provozech lisoven používány již moderní lisy s vysokým počtem zdvihů. Četné výsledky měření ukazují, že zvýšení rychlosti tažení velkorozměrných výtažků složitých tvarů má nepříznivý vliv na proces plastické deformace na základě vzniku plastických vln, způsobujících lokalizaci deformace a tím i možné porušení výtažku při tažení.

Rychlost tažení ve velké míře ovlivňuje třecí poměry, přestože součinitel tření závisí na smykové rychlosti, proto může rychlost tažení podstatně ovlivnit stupeň tažení. Tato závislost vzrůstá, čím větší podíl z celkové tažné síly připadá na třecí síly.

### 2.1.2.3. VLIV MAZÁNÍ

Při tažení vznikají třecí síly v oblastech (popsány v kapitole 2.2.1.4.) a tření samotné pak zvyšuje tažnou sílu o 20-30%, způsobuje otěr, opotřebení činných částí tažného nástroje ovlivňuje také mezní hodnoty stupně tažení. Na snížení tření se používají maziva, která sníží nežádoucí tření při tažení.

S mazáním souvisí i problematika zadírání, která je důležitým faktorem vyskytujícím se během tažení. Zadírání ve značné míře ovlivňuje konečnou kvalitu výlisků, zejména pohledových částí výlisků karosérie automobilu.

### 2.1.3. TAŽENÍ VÝLISKŮ NEPRAVIDELNÝCH TVARŮ [3, 4]

Tažení výlisků nepravidelných tvarů karosářského typu představuje z technologického hlediska jednu z nejsložitějších operací. Jsou to především nepravidelné velkoplošné výtažky, které mají členitý povrch s nerovnoměrnou hloubkou tažení. Při výrobě těchto složitých prostorových výlisků se používá:

- proces vypínání plechu - ploché díly karoserie
- proces hlubokého tažení - složité hluboké prostorové tvary

Výtažek se skládá ve většině případů z křivočarých ploch a jeho obrys je nepravidelný a složitý. Příklad karosářského výlisku 5. dveří Škody Octavie Tour je vidět na obr.2.2.. Při výrobě karosářských dílů je materiál podroben komplexnímu přetvoření, které zahrnuje jak hluboké tažení a vypínání, tak i ohýbání a opětovné rovnání, rozšiřování a lemování. K technologickým zvláštěnostem tažení těchto výlisků patří i to, že plocha výlisku je mnohem větší než plocha, která se nachází v oblasti přidržovače.



Obr.2.2.: Příklad výlisku karosářského typu (5. dveře Škoda Octavia)

Další specifické zvláštnosti tažení karosářských výlisků je možné shrnout v těchto bodech:

- k přetvoření plechu ve značné míře dochází za působení tahových napětí, tlaková napětí se obvykle objevují v oblasti přidržovače a mohou zde způsobovat nežádoucí vznik vln
- pro získání kvalitního výlisku bez vln je potřeba v oblasti přidržovače nebo tažné hrany plech intenzivně brzdit, intenzita brzdění se musí po obvodě výlisku měnit
- kritická místa výlisku se mazávají technologickým mazivem
- velké rozměry výlisku a členitost jeho tvaru často neumožňuje ovlivnit průběh tažení v oblasti přidržovače a je proto nutné použít technologické prolisy a otvory v nástřihu plechu

Všechny uvedené doplňkové zásahy napomáhají k vytvoření příznivějšího stavu napjatosti a stupně přetvoření v kritických místech výtažku, neboť se tím docílí vyššího využití tvárnosti daného materiálu používaného na výlisky a celkového zvýšení efektivity tažení.

Nedodržením zde uvedených podmínek u tažení výlisků ve většině případů vede k narušení bezproblémového procesu tažení a lze předpokládat i vznik zmetků, které se projevují v následujících podobách:

- lokalizace přetvoření, jenž vede v nejvíce přetvořené oblasti výlisku k tvárnému lomu v důsledku vyčerpání plasticity materiálu
- vznik trhliny způsobené překročením pevnosti materiálu v tahu
- zvlnění plechu jako projev nestability při působení tlakových napětí
- výskyt povrchových vrásek
- zadírání při styku povrchu plechu s nástrojem
- nedodržení tvarové a rozměrové přesnosti

Za nejzávažnější případy, které jsou zde uvedeny je vznik trhlin na výliscích. Výlisek je lisovatelný, jestliže jsou odstraněny všechny výše uvedené problémy.

#### 2.1.4. PLECHY POUŽÍVANÉ NA KAROSÁŘSKÉ VÝLISKY [5]

Plech jako konstrukční materiál musí splňovat stále nové a nové vlastnosti, které jsou požadovány. Standardní nízkouhlíkové ocelové plechy bez povrchové úpravy se v dnešní době používají jen zřídka. Tento typ materiálu byl nahrazen převážně povlakovanými ocelovými plechy. Tyto povlakované ocelové plechy musí splňovat požadavky na dobrou lisovatelnost a zároveň musí povrchová vrstva poskytovat účinnou protikorozi ochranu.

V automobilovém průmyslu se nejvíce uplatňují plechy s povlaky na bázi zinku. Zinek je vhodný hlavně pro svou nízkou cenu a výbornou protikorozi ochranu. Hlavní nevýhodou pozinkovaných plechů je jejich sklon k zadírání při procesu tažení.

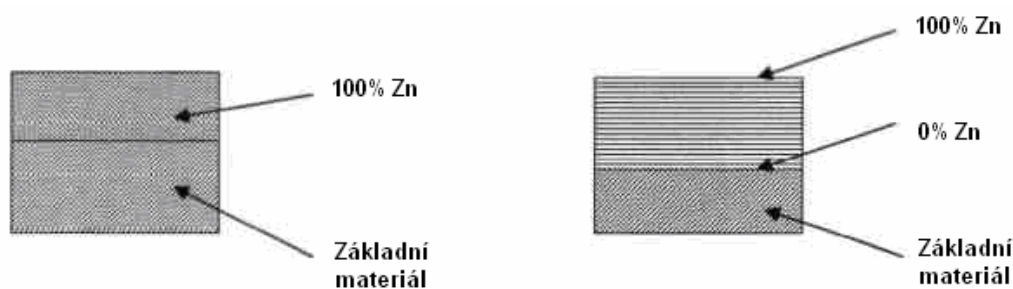
Při výrobě karoserií se nejčastěji používají plechy žárově HDG, nebo elektrolyticky pozinkované EG. Tyto plechy s ochrannou vrstvou mohou být pozinkovány na jedné či obou stranách a dle způsobu pozinkování se dělí na elektrolyticky pozinkované – plechy EG (2.1.4.1) a žárově pozinkované – plechy HDG (2.1.4.2).

- plechy typu **EG** (Electro Galvanized) – ocelový hlubokotažný plech s ochrannou povrchovou vrstvou zinku elektrolyticky (galvanicky) nanesenou na povrch plechu
- plechy typu **HDG** (Hot Dip Galvanized) – ocelový hlubokotažný plech s ochrannou povrchovou vrstvou zinku žárově (ponořením plechu do roztavené zinkové lázně) nanesenou na povrch plechu.

Na obr.2.3. je znázorněn rozdíl v rozložení zinku pro jednotlivé technologie výroby zinkového povlaku (elektrolytického a žárového pozinkování plechů).

Výhody elektrolytického zinkování lze shrnout do tří základních bodů:

- proces neovlivňuje původní mechanické vlastnosti materiálu, zejména jeho hlubokotažnost
- proces umožňuje přípravu velmi tenkých zinkových povlaků
- proces umožňuje výrobu diferencovaných a jednostranných zinkových povlaků



a) elektrolytické zinkování

b) žárové zinkování

Obr.2.3.: Porovnání rozložení zinku při žárovém a elektrolytickém pokovení

#### 2.1.4.1. ELEKROLYTICKY POZINKOVANÉ PLECHY (PLECHY EG)

Provedení elektrolyticky pozinkovaných plechů závisí na výběru materiálu a na předem zvoleném výrobního procesu. Způsob elektrolytického pozinkování nám zaručuje vysokou chemickou čistotu povlakové vrstvy a rovnoměrnou kontrolovatelnou tloušťku povlaku (odchylka  $\pm 0,1(\mu\text{m})$ ).

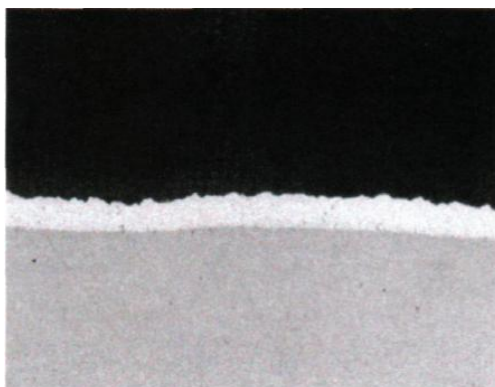
Vlastnosti jako jakost povrchu, kontrolovatelná textura, předurčují k průmyslovému použití pro lakované díly, na které jsou v automobilovém průmyslu kladeny nejvyšší nároky. U jednostranně povlakovaných provedeních může být lak v případě viditelných dílů nanášen pouze na nepovlakovanou stranu. Pozinkovaná vnitřní strana nabízí vynikající protikorozi ochranu především v dutinách. Detail podélného řezu plechu s vrstvou zinkového povlaku je vidět na obr.2.4. a různé druhy zhotovení EG povrchu jsou znázorněny na obr.2.5.

Elektrolytické pozinkování zaručuje velmi čistou a tedy tvárnou (houževnatou) Zn vrstvu, která odolává i značným přetvořením. Elektrolyticky pozinkované materiály jsou používány pro skvělou odolnost proti korozi. Tyto plechy nabízí u povlaku výbornou korozi ochranu, dokonce i když je poškozena (např. poškrábáním) tato vlastnost je důsledkem elektrochemické zákonitosti dvojice železo-zinek.

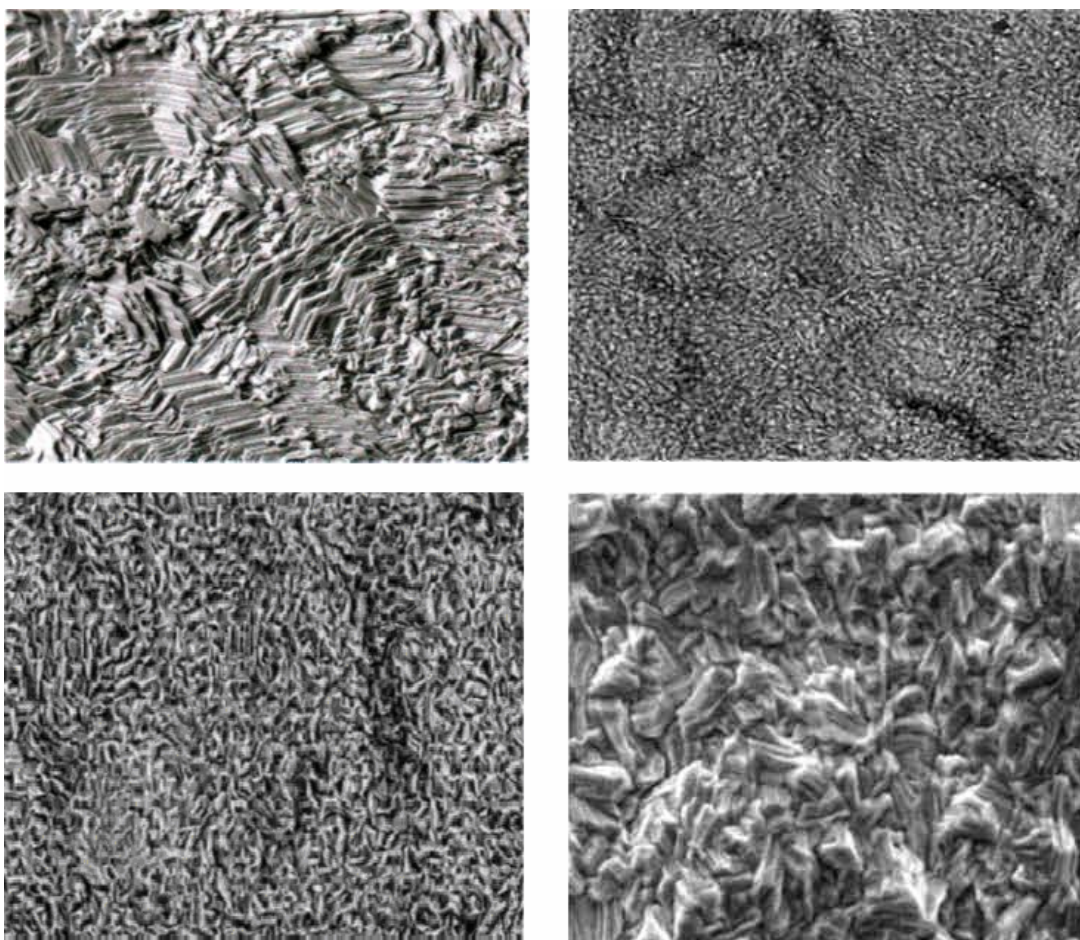
Oceli se Zn povlaky, nanášenými elektrolytickým zinkováním mají velmi dobrou tvářitelnost a jsou proto vhodné k hlubokému tažení. Morfologie povrchu plechu u elektrolyticky zpracovaných materiálů není tak výrazná z toho důvodu, že zinková vrstva kopíruje morfologii základního materiálu, který je již po finálním hlazení. Nepříznivé tribologické vlastnosti (v porovnání



s povlaky nanášenými ponořováním do lázně) je vhodné odstranit chemickou úpravou povlaku Zn a to zejména u velmi náročných výlisků.



*Obr.2.4.: Podélný řez EG povrchu, zvětšeno 1000x*



*Obr.2.5.: Typy morfologií EG povrchu, zvětšeno 500x*



#### 2.1.4.2. ŽÁROVĚ POZINKOVANÉ PLECHY (PLECHY HDG)

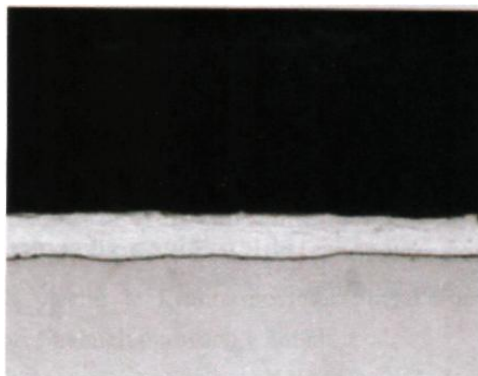
V současné době je tato technologie a plechy HDG čím dál tím více používány. V dřívější době se plech HDG příliš často nepoužíval, hlavním důvodem byl problém se změnou normálové anizotropie při ponoření plechu do zinkové lázně. Žárově upravené materiály neměly v minulosti vhodné hodnoty normálové anizotropie pro tváření, jako materiály elektrolyticky pokovené. Dnes již byla tato nevýhoda odstraněna.

Žárově pozinkované materiály také vynikají skvělou protikorozní ochranou a dokonce i když je poškozena, stejně jako u plechů elektrolyticky pozinkovaných.

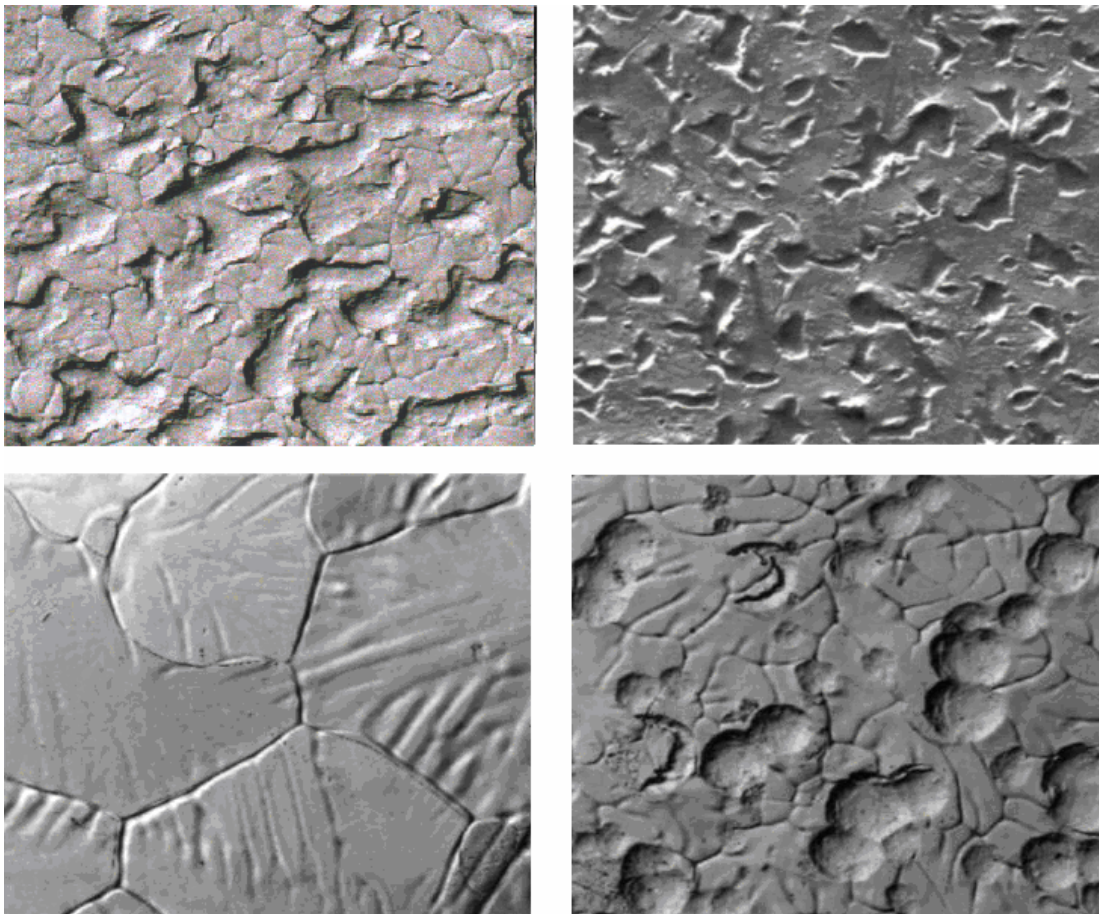
Žárově pozinkované plechy jsou vhodné pro hluboké tažení i těch nejnáročnějších karosářských dílů. Jakost povrchu je nejdůležitějším technickým parametrem ocelí pro povrchové díly karoserie. Žárovým pozinkováním vzniká velice dobrá jakost povrchu (homogenní, řízená textura). Tato technologie umožňuje použití na viditelné lakované díly, na které se v automobilovém průmyslu kladou nejvyšší nároky. Díky elasticitě čisté zinkové vrstvy je vyloučeno riziko jejího popraskání při tváření.

Porovnání jednotlivých povlaků zhotovených žárovým zinkováním není možné vzhledem k různému sortimentu dodávaných typů povlaků.

Na vytvářenou texturu hraje důležitou roli v tribologických podmínkách mazání (způsob a množství dodávání mazacího média) při kontaktu mezi nástrojem a plechem. Řez plechu s vrstvou zinkového povlaku je znázorněn na obr.2.6. a příklady možných typů morfologií povlaku jsou znázorněny na obr.2.7.. Výroba jednotlivých typů morfologií zde není zmíněna, neboť práce by přesáhla rozsah diplomové práce. Jednotlivé metody jsou popsány v [5].



Obr.2.6.: Podélný řez vrstvou HDG povrchu, zvětšeno 1000x;



*Obr.2.7.: Typy morfologií HDG povrchu, zvětšeno 500x*

## 2.2. VÝZNAM TRIBOLOGIE [4]

Tribologie při zpracování kovů přímo ovlivňuje tření na rozhraní nástroj—výrobek.

Tak jako ve všech tribologických procesech se musí při zpracování kovů zohledňovat:

- druh předávaného pohybu (tažení),
- pracovní podmínky (zatížení, tlak pod přidržovačem, nástroj, tvářený materiál, vstupní a třecí teplota, trvání operace, tok materiálu, rychlost přetváření atd.),
- struktura systému:
  - a) vlastnosti a vzájemné vztahy mezi tribologickými prvky:

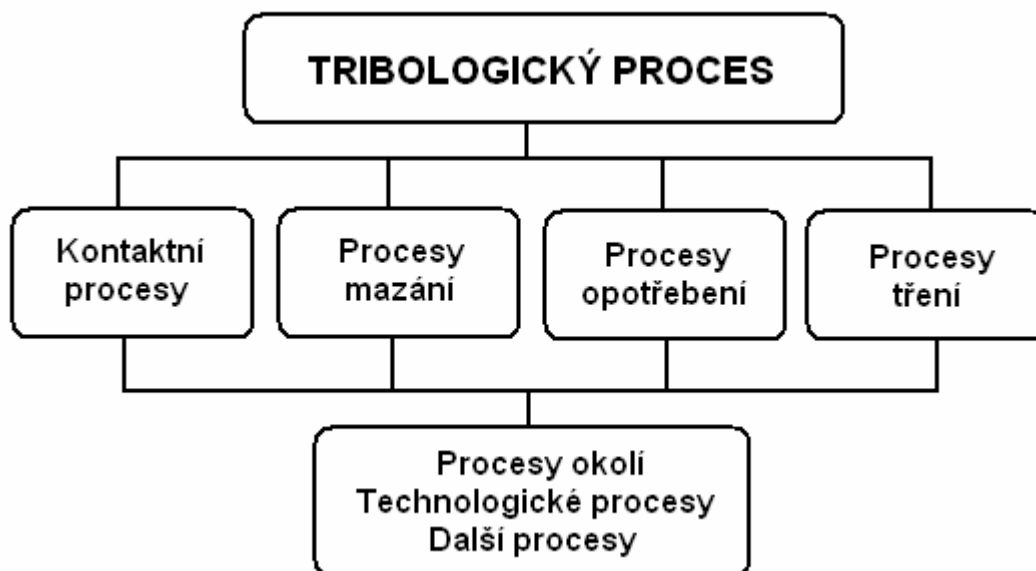
tvářeným materiálem a nástrojem (složení, geometrie, rozměry, tažnost, tvrdost, drsnost povrchu, předzpracování zvolených materiálů), mazivem (typ, chemické složení, viskozita a její změny s teplotou a tlakem i smykovým spádem aj.) a prostředím (složení, vlhkost),

- b) vztahy mezi vstupem a výstupem z procesu (příkonem a výkonem, nástrojem a tvářeným materiálem z hlediska tření, třecích ztrát a třecího tepla, opotřebení a jakosti povrchu výrobku).

### 2.2.1. TRIBOLOGIE [4, 5, 8, 9, 10]

Tribologie je vědní obor, který se zabývá chováním dvou vzájemně se dotýkajících povrchů ve vzájemném pohybu a nebo při pokusu o vzájemný pohyb. Pohyb může být kluzný, valivý, rotační, kmitavý nebo nárazový. Ve skutečnosti se hodně uplatňují dva i více druhů pohybu současně.

Na tribologický proces mají vliv materiálové interakce třecích těles, látky mezi povrchy a samotné okolí. Vzájemné vazby mezi částmi v tribologickém procesu jsou znázorněny v obr 2.8.



Obr. 2.8.: Vazby v tribologickém systému

#### 2.2.1.1. INTERAKCE POVRCHŮ

Při kontaktních procesech se musí uvažovat se základními tvarově-rozměrovými a materiálovými vlastnostmi navzájem stýkajících se ploch, jejich vzájemnou vazbou a reakcích mezi nimi. Tyto vazby jsou hlavně

fyzikální, materiálové, chemické, atd.. Z těchto důvodů je třeba uvažovat nad těmito vlivy:

- Mikrogeometrii a makrogeometrii kontaktních ploch.
- Rozměru ploch zúčastňujících se na kontaktním procesu.
- Fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti těles.
- Charakteristický druh deformace mezi jednotlivými tělesy.
- Rychlost a typ vzájemného relativního pohybu.

Jednu z hlavních rolí v tribologii hrají rozměry ploch styku, které zprostředkovávají přenos pohybu. Musí se však uvažovat skutečná kontaktní plocha, která je většinou menší než plocha geometrická.

V ideálním případě dvou dokonale hladkých pružných těles se uvažují Hertzovy vztahy. Při zatížení normálnou silou  $F_N$  dochází k elastické deformaci:

I. Pro vnik koule s poloměrem  $r$  do roviny platí pro max. Hertzův tlak

$$p_{\max.} = 1,5 \frac{F_N}{p a_H^2} \sqrt{1 - \left( \frac{1}{a_H} \right)^2} \quad (1)$$

kde  $a_H$  je poloměr vzniklého kruhového vtisku a vypočte se z:

$$a_H = \left( \frac{3r}{2E'} \right)^{\frac{1}{3}} F_N^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

$E'$  je redukovaný modul pružnosti materiálu

$$E' = \frac{1}{2} \left[ \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right] \quad (3)$$

kde  $E_1$ ,  $E_2$  jsou Youngovy moduly pružnosti a  $\nu_1, \nu_2$  jsou Poissonovy konstanty jednotlivých materiálů.

Pro plochu kruhového vtisku  $S_H$  platí

$$S_H = p a_H^2 = p \left( \frac{3r}{2E'} \right)^{\frac{2}{3}} F_N^{\frac{2}{3}} \quad (4)$$

II. Pro styk dvou koulivých povrchů s poloměry  $r_1$  a  $r_2$  platí stejné závislosti, ekvivalentní poloměr zakřivení  $r$  je dán vztahem

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \quad (5)$$

III. Pro styk válec-rovina nebo válec-válec platí podobné vztahy jako v rovnicích (1) až (5).

Ve všech případech Hertzových tlaků je plocha styku úměrná síle  $F_N^{2/3}$ , protože reálná tělesa nejsou nikdy ideálně hladká, tak jejich styk probíhá pouze na výčnělcích. Z toho důvodu je plocha styku velmi malá a tím i při malých zatíženích dochází k elastické až plastické deformaci.

Skutečné plochy styku nám určuje významný Archardův vztah

$$S_r = k \left[ \frac{F_N}{E} \right]^c \quad (6)$$

kde  $k$ ,  $c$  jsou materiálové konstanty.  $0,98 \geq c \geq 0,87$ .

Podrobnějším rozbořem Hertzových závislostí vyšlo, že:

1. Celkový počet mikrokontaktů je téměř úměrný zatížení  $F_N$ ,
2. Průměrná velikost mikrokontaktů je téměř nezávislá na  $F_N$ ,
3. Skutečná plocha styku je úměrná počtu mikrokontaktů.

Pro plastickou deformaci výčnělků platí vztah

$$p_m = 1,1s_e \quad (7)$$

kde  $p_m$  je střední kontaktní tlak a  $s_e$  je mez pružnosti měkčího třecího prvku.

Aby na celé stykové ploše nastala plastická deformace, musí platit

$$p_m \geq 3s_e \quad (8)$$

Čím vyšší je plastická deformace, tak tím vyšší je i plocha styku, která se poté může rovnat až ploše geometrické.

#### 2.2.1.2. VZNIK TŘENÍ

Mezi plochou nástroje a tvářeného materiálu nastává relativní pohyb, a tím dochází ke tření. Tření je definováno jako odpor proti stávajícímu nebo předpokládanému relativnímu pohybu dotýkajících se pevných těles. Úlohu pasivního činitele má při tváření vnější tření. Tření má za následek zvýšení spotřeby energie potřebné pro deformační proces, způsobuje opotřebení nástrojů a brání rozvoji deformace. Jako aktivní činitel působí jen u některých tvářecích technologiích (např. válcování).

Nerovnoměrnost přetvoření způsobuje vnější stykové tření. V každém bodě dotyku povrchu vznikají elementární stykové třecí síly. Smykové třecí síly vyvolávají smyková napětí, která působí proti relativnímu pohybu

tvářených těles. Tímto způsobem dochází ke změně stavu napjatosti a přetvoření. Místa s různou deformací jsou vytvářena třecími silami, jenž působí od povrchu do hloubky tvářeného tělesa.

Zvýšenými tvářecími silami překonáváme již zmíněné smykové tření. Zvyšují se tak i tvářecí tlaky. Tření tak přímo ovlivňuje spotřebu energie během vlastního procesu tváření.

### 2.2.1.3. DRUHY TŘENÍ

Tření je přírodní proces, který je vázán na vzájemný relativní pohyb stýkajících se prvků v tribologickém systému. Uvažují se dva pohledy výzkumu v závislosti na hloubce zkoumání třecích ploch:

- makromodel - zohlednění celého systému, získáváme údaje z vnějších měřitelných veličin tribologického systému (třecí síla při tangenciálním pohybu, třecí moment při rotačním pohybu, třecí práce)
- mikromodel - na tření se nahlíží jako na elementární proces

Nejznámější obecná definice tření říká:

*Tření je odpor proti relativnímu pohybu mezi dvěma k sobě potlačovanými tělesy v oblasti dotyku jejich povrchů v tangenciálním směru.*

Tato definice popisuje vnější tření, ale nevystihuje už tření vnitřní. Proto máme definici novou, která říká:

*Tření je ztráta mechanické energie při pohybu navzájem se dotýkajících materiálových oblastí.*

Pokud vycházíme ze základního tribologického systému mohou nastat čtyři základní stavy tření:

- Suché tření, nastává tehdy, kdy se určující materiálová oblast nachází v tuhém stavu.
- Tření kapalinové, vrstva materiálu, kde probíhá tření má charakter kapaliny.
- Tření plynné, je podobné kapalinovému tření, s tím rozdílem, že charakteristická vrstva má vlastnosti plynu.
- Tření plazmatické, je stav, kdy charakteristická vrstva, ve které probíhá třecí proces, má vlastnosti plazmy.



Jednotlivé třecí stavy se většinou samostatně nevyskytují, ale nastává jejich kombinace.

#### 2.2.1.3.1. SUCHÉ TŘENÍ

Suché tření nastává, když se plochy dotýkají bezprostředně bez jakéhokoli mazadla. Při tváření je tento stav samozřejmě nežádoucí a vyskytne se jen v případě chybného nanesení a nebo při opomenutí nanesení mazadla.

Dva po sobě pohybující se povrchy se stýkají pouze na vrcholcích nerovností a ty jsou plasticky deformovány. Přítláčná normálová síla  $F_N$  vyvolává plastickou deformaci na vrcholcích nerovností vlivem velkého místního tlaku. Vytvoří se činná plocha styku  $S$ , která je dána rovnicí

$$S = \frac{F_N}{p_m} \quad (9)$$

kde  $p_m$  je střední tlak potřebný pro vznik plastické deformace nerovností.

Při vlastním styku vrcholků v oblasti suchého tření dochází k jejich svařování. Tato svarová spojení se při posunutí materiálu přerušují. Obtížnost k přerušení svaru je závislá na jejich kvalitě, takže nabývá na důležitosti jejich vzájemná rozpustnost.

Na závěr je důležité zdůraznit, že suché tření je v procesu tváření nežádoucím jevem a odstraňuje se mazáním a proto mu zde nebude věnována větší pozornost.

#### 2.2.1.3.2. MEZNÉ TŘENÍ

Nastává za podmínek, když se mezi třecími povrchy již vytvoří tenká vrstvička adsorbovaných molekul plynu, kapaliny nebo látky vytvořené chemickou reakcí povrchů, mluvíme o mezném tření nebo o mezném mazání. K meznému tření může dojít i u záměrně mazaných povrchů, pokud není přívod maziva dostatečný nebo vrstva maziva není dostatečně únosná. Za těchto podmínek se třecí plochy přiblíží k sobě natolik, že jejich bezprostřednímu styku brání již jen mezná vrstva maziva. Mezná vrstva je složena z filmu polárních molekul maziva s velkou přilnavostí k povrchu tělesa.

V technické praxi vzniká mezné tření v případech, kdy působí velké tlaky při malých stykových plochách, při malých smykových rychlostech a mezi drsnými povrchy.

### 2.2.1.3.3. HYDRODYNAMICKÉ TŘENÍ

Mezné filmy dokáží podstatně zmenšit třecí sílu při relativním pohybu dvou těles a zabraňují tvorbě studených svarů, ale nedokáží oddělit třecí povrchy od sebe a eliminovat tak vliv drsnosti povrchů.

Dokonalé oddělení třecích povrchů se provede až při hydrodynamickém tření (kapalinovém tření). Vytváří se mezi třecími povrchy souvislá vrstva maziva, která zcela vyrovnává drsnost povrchů. Proces tření probíhá v této vrstvě. Třecí sílu je pak závislá jen na velikost vnitřního tření v mazací vrstvě a lze ji vyjádřit vztahem

$$F_t = \eta \frac{Sv}{h} \quad (10)$$

$\eta$  - dynamická viskozita,

$S$  - styčná plocha třecích povrchů,

$v$  - lineární rychlost pohybu třecích povrchů,

$h$  - tloušťka vrstvy maziva.

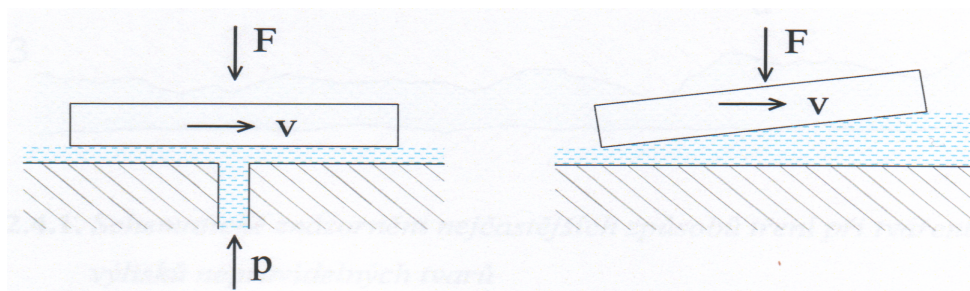
Pro součinitel kapalinového tření tedy platí vztah

$$m = \frac{\eta}{p} \quad (11)$$

kde  $p$  je střední měrný tlak  $F_N/S_N$ ,  $S_N$  je průmět kluzné plochy.

Pokud má být vrstva schopna přenést zatížení, kterým jsou k sobě tělesa přitlačována, musí v ní být vytvořen odpovídající protitlak. Protitlaku se může dosáhnout dvěma způsoby - hydrodynamicky a hydrostaticky. Schematické znázornění vytvoření hydrostatického tlaku v kapalině je vidět na obr.2.9.a. a hydrodynamického tlaku na obr.2.9.b..





a) mazání hydrostatické

b) mazání hydrodynamické

Obr.2.9.: Schematické znázornění vytvoření tlaku v kapalině

#### 2.2.1.3.4. SMÍŠENÉ TŘENÍ

Smíšené tření je nejrozšířenější formou tření, která se vyskytuje při tvářecích procesech. Nejsou-li třecí plochy dokonale odděleny tenkou vrstvou maziva a dochází k bezprostřednímu styku jejich nerovností, existuje mezi nimi smíšené tření tj. tření kapalně, tak i mezní tření. K tomuto tření dochází, v případě kdy tloušťka mazadla mezi povrchy je menší než tloušťka potřebná pro kapalinové tření, ale je větší než tloušťka tenkého filmu pro tření mezní.

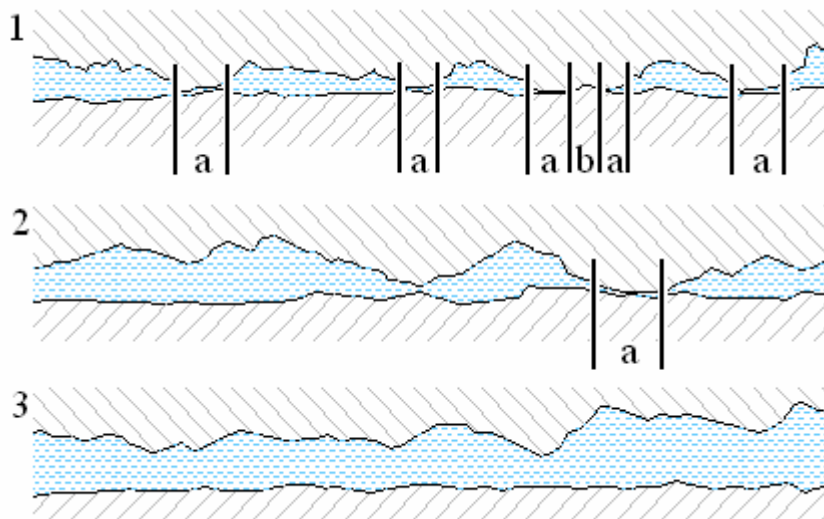
K přechodu mazání kapalinového na mazání smíšené může dojít vlivem následujících parametrů (především velké zatížení a malá smyková rychlost třecích ploch), přičemž jednu z hlavních rolí hraje mikrogeometrie funkčních ploch. Na proces porušení mazacího filmu má vliv teplota maziva hlavně při větších zatíženích a rychlostech třecích ploch.

Smíšené tření je nejpoužívanější formou tření při výrobě výlisků karosářského typu. Podíl jednotlivých složek (kapalinové tření a mezní tření) do značné míry ovlivňuje konečnou kvalitu výrobku. Na obr.2.10. jsou schematicky znázorněny nejčastější druhy tření při tváření výlisků nepravidelných tvarů.

Jsou zde prezentovány tři stavy tření: mezní (1), smíšené (2) a kapalinové (3). Tyto schématické modely tření jsou zakresleny pro dva materiály s odlišnou tvrdostí i drsností povrchu. Spodní materiál (nástroj) má leštěný povrch a podléhá jen elastické deformaci. Horní materiál má větší drsnost a menší pevnost povrchu a podléhá plastické deformaci.

Při mezním tření dochází k deformaci vrcholů nerovností (a), kovovému styku brání jen mezní vrstva maziva, ale i přesto jsou zde místa, kde dochází k narušení mezní vrstvy (b), tvrdší materiál zde vniká do měkčího a způsobuje porušení vrstvy. V oblasti smíšeného tření je značná část zatížení

přenášena vrstvou mazadla a k meznému tření dochází pouze místy. Možnost kovových kontaktů tak klesá na minimum. Při kapalinném tření je mazací film natolik únosný, že ke kontaktu materiálů již nedochází ani v místech nejvyšších nerovností (3).



Obr. 2.10.: Schematické znázornění nejčastějších způsobů tření při tváření výlisků nepravidelných tvarů

#### 2.2.1.4. VLIV TŘENÍ NA PROCES HLUBOKÉHO TAŽENÍ

Hluboké tažení patří mezi nejnáročnější operace plošného tváření z hlediska stavu napjatosti a deformací. O výsledku deformace při hlubokém tažení rozhodují kromě již zmíněných technologických podmínek dalších faktory:

- samotný materiál a jeho vlastnosti
- vzájemné tření tvářeného materiálu s povrchem tažného nástroje

O uvedených faktorech rozhoduje metoda tažení, protože napětí i tloušťka materiálu se během procesu tažení mění, stejně tak i vlastní tření ve vzájemném styku dvou povrchů. Při tažení v pevném nástroji působí oba faktory. V počáteční fázi tažení při tvarování dna výtažku, kdy je síla na tažníku malá má tření materiálu v nástroji nevýrazný vliv na průběh deformace. S postupným zvyšováním síly tažení se zvyšuje vliv tření a ztěžuje proces přetvoření, kdy může dojít i za jistých podmínek k místnímu porušení výtažku.

Tření ovlivňuje průběh deformace během vlastního tažení a je jedním z nejdůležitějších parametrů, který má vliv na maximální přetvoření při hlubokém tažení. Tření ovlivňuje velikost mezní tažné síly a také zároveň ovlivňuje i kvalitu konečného výlisku (přesnost výtažku z pohledu rovnoměrné tloušťky, kvalita povrchu). Tažnou sílu  $F_T$  je možno v obecném tvaru vyjádřit dle vztahu

$$\vec{F}_T = \vec{F}_d + \vec{F}_o + \vec{F}_t \quad (12)$$

kde  $\vec{F}_d$  je deformační síla na plastické přetvoření

$\vec{F}_o$  je deformační síla na plastický ohyb přes poloměr tažnice

$\vec{F}_t$  je celková třecí síla

Z rovnice (12) vyplývá, že při konstantních konstrukčních i technologických parametrech nástroje a podmínkách procesu tažení, velikost síly tažení je ovlivněna třecí složkou síly  $\vec{F}_t$ , tedy tribologickými podmínkami. Do těchto můžeme zařadit druh a množství použitého naneseného maziva, což ovlivní do značné míry podmínky tření, při kterých se uskutečňuje vlastní tažení. Tažení probíhá za podmínek mezního tření a další faktory, které do procesu vstupují tento stav ovlivňují a značnou měrou se tak podílí na kvalitě konečného výtažku. Z mnohých lze jmenovat: kontakt nástroje a materiálu, mikrogeometrii tvářeného materiálu a nástroje, morfologii povrchu substrátu a další parametry.

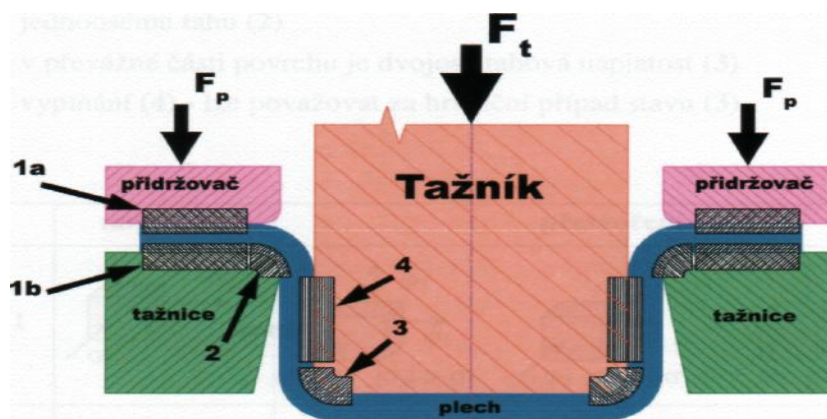
Složka třecí síly se skládá z dílčích třecích sil v jednotlivých oblastech stykových povrchů systému nástroje - výtažku.

Tření souvisí se vzájemný relativním pohybem dvou povrchů, proto při tažení výlisku dochází k tomuto jevu v oblastech jež jsou znázorněny na obr.2.11.. Význam tření je spjat s použitým materiálem a stavem jeho povrchu.

mezi plechem a přidržovačem (1a)

mezi plechem a tažnicí (1b a 2)

mezi plechem a tažníkem (3 a 4)



Obr.2.11.: Schématické znázornění dílčích třecích složek v kontaktu tažný nástroj-materiál

#### 2.2.1.5. HODNOCENÍ GEOMETRIE POVRCHU

Povrch tělesa představuje vnější ohraničení od okolí a také vymezuje namáhané povrchové a podpovrchové vrstvy od základního nenamáhaného materiálu. Povrch třecích těles, jako prvků tribologického systému, musí mít dané chemické, fyzikální, geometrické a další vlastnosti, které souhrnně vyjadřujeme jako kvalita povrchu.

Z pohledu tváření mají plechy splňovat určitá kritéria, aby bylo zajištěno kvalitní a bezproblémové lisování.

- schopnost přenášet vysoké kontaktní tlaky bez a nebo s minimálním poškozením při posuvech přes malé poloměry zaoblení
- schopnost odolávat vysokým kontaktním tlakům při dosednutí částí lisovacích nástrojů
- schopnost udržet optimální množství mazacího prostředku a zabránit poškození původní struktury

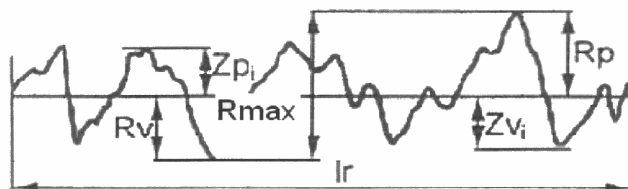
##### 2.2.1.5.1. MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU

Základním způsobem hodnocení kvality povrchu je měření drsnosti povrchu. Měřením drsnosti definujeme vlastní mikrogeometrii, která má vliv jak na lisování, tak i na vzhled po lakování. Sledované plochy jsou popsány pomocí veličin daných normou DIN EN ISO 4287.

Základní parametry sloužící pro hodnocení kvality povrchu jsou:

### 1) Maximální výška profilu $R_{max}$ [ $\mu\text{m}$ ]

Maximální výška profilu  $R_{max}$  je definována jako součet nejvyššího výstupku  $R_p$  a hloubky nejnižší rýhy  $R_v$  uvnitř základní délky  $l_r$ . Schematické vyjádření maximální výšky profilu  $R_z$  je vidět na obr.2.12.



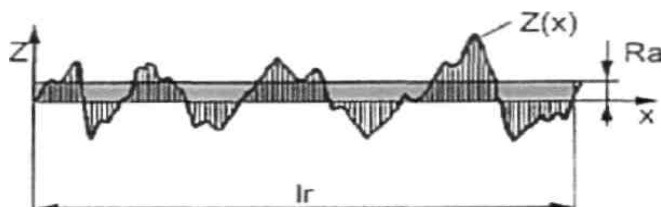
Obr.2.12.: Schematické vyjádření maximální výšky profilu  $R_{max}$ .

### 2) Střední aritmetická hodnota drsnosti $R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]

Střední aritmetická hodnota drsnosti  $R_a$  je aritmetický střed absolutních odchylek filtrovaného profilu drsnosti od střední čáry uvnitř základní délky  $l_r$  a je definována vztahem:

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (13)$$

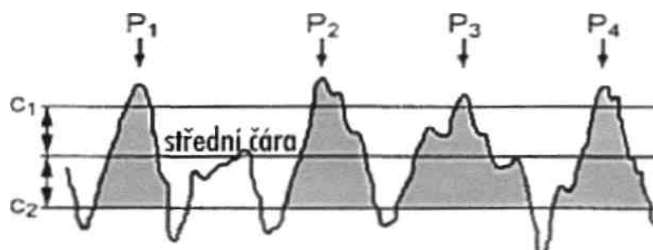
Schematické vyjádření střední aritmetické hodnoty drsnosti je vidět na obr.2.13..



Obr. 2.13.: Schematické vyjádření střed. aritmetické hodnoty drsnosti  $R_a$ .

### 3) Počet výstupků $R_{Pc}$ [1/cm]

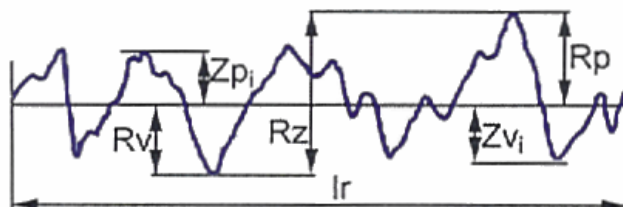
Počet výstupků  $R_{Pc}$  je počet výstupků  $P_x$  na 10 mm vztažené délky. Pro vyhodnocení je třeba zadat hladiny řezu  $C_1$ ,  $C_2$ . Schematické znázornění je vidět na obr. 2.14..



Obr. 2.14.: Schematické znázornění počtu výstupků  $R_{Pc}$

#### 4) Výška nerovností $R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]

Výška nerovností  $R_z$  se určuje jako střední hodnota vzdáleností 5-ti nejnižších body prohlubní a 5-ti nejvyšších body výstupků. Schematické znázornění je vidět na obr. 2.15..



Obr.2.15.:Schematické vyjádření maximální výšky profilu  $R_z$

Problém hodnocení povrchů je velmi složitý a je nutné zdůraznit, že momentálně používané kritéria pro hodnocení kvality povrchu podle příslušných norem na komplexní hodnocení povrchu z tribologického hlediska nestačí. Jde totiž stále o 2D pohled, který sice vyjadřuje snadno změřitelné charakteristiky, ale k potřebným hodnotám pro samotné lisování je to však nedostatečné.

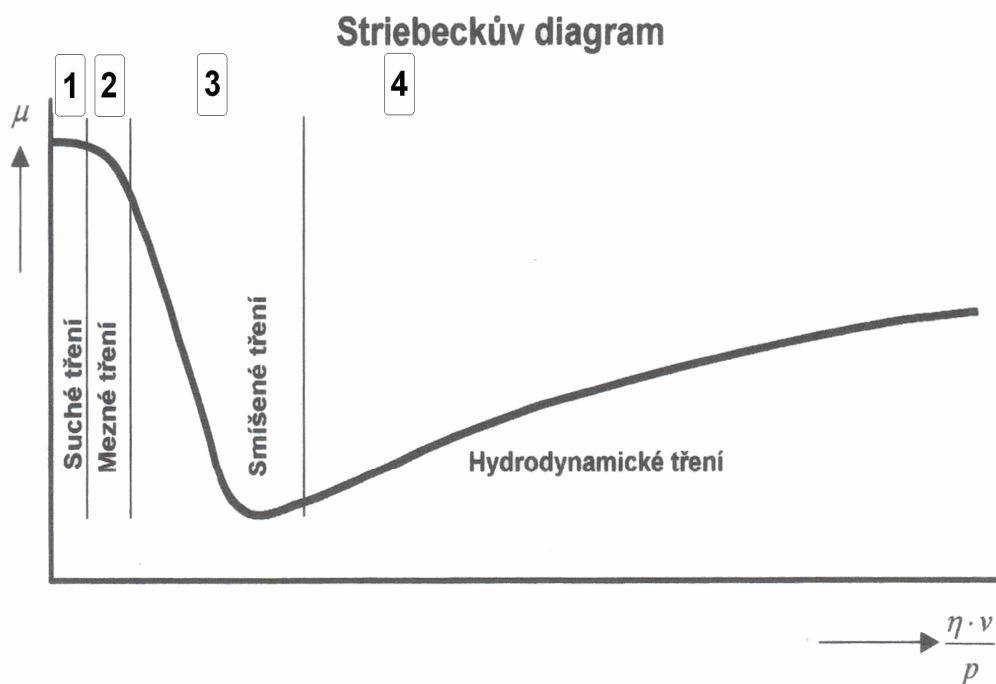
V dnešní době se začíná uplatňovat možnost měření mikrogeometrie povrchu pomocí 3D hodnocení. Při tomto způsobu měření získáme představu o reálném povrchu pomocí vrstevnicových map s případným axonometrickým zobrazením všech hodnot.

#### 2.2.1.5.2. HODNOCENÍ POVRCHU Z HLEDISKA TRIBOLOGIE

Jednotlivé modely tření vznikají za určitých specifických podmínek při interakci dvou vzájemně se dotýkajících povrchů těles při jejich vzájemném pohybu a nebo při pokusu o vzájemný pohyb za přítomnosti maziva. Při zkoumání problematiky tření je věnována pozornost na zjišťování koeficientu tření. Pro zvolené technologické podmínky je sledován vliv soustavy: **testovaný substrát - mazadlo - zkušební nástroj**. Výsledky zjištěné na základě experimentálních měření z testované soustavy jsou zaznamenány do tzv. Stribeckových diagramů, kde  $\mu$  je koeficient tření závislý na relativní rychlosti pohybu v třecích partnerů (sledovaných ploch), při použití maziva s určitou viskozitou  $\eta$  ( dynamická viskozita) a tloušťkou mazací vrstvy  $h$  při kontaktním tlaku  $p$ .



Na obr.2.16. je Stribeckova křivka jejíž vymezené oblasti představují jednotlivé typy tření. V oblasti 1 se vyskytuje suché tření, v oblasti 2 tření mezní, v oblasti 3 tření smíšené a v oblasti 4 tření kapalinné.



Obr.2.16.: Stribeckův diagram

Zjišťuje se ale, že při reálném lisování má na velikost koeficientu tření vliv řada činitelů. Velikost třecí síly závisí na:

- výšce nerovností
- rychlosti posuvu plechu po nástroji
- deformacích plechu současně s posuvy (vliv mechanických vlastností)
- druhu materiálu nástroje
- druhu použitého substrátu (nepokovený, typ pokovení)
- chemickém složení povrchu použitého substrátu
- použitém mazivu při tažení
- velikosti kontaktního tlaku mezi materiálem a nástrojem
- mikrogeometrii povrchu substrátu (drsnot a druh povrchové textury)

Musíme si uvědomit, že každá z veličin se podílí na tribologických dějích ve sledované soustavě. Největší nevýhodou je že se neuplatňují

samostatně, ale vzájemně se ovlivňují. Z toho důvodu je velmi obtížné výše uvedené vlivy hodnotit odděleně, a proto se často při vyhodnocování tribologických podmínek posuzují výsledky zkoušek pro soustavu **nástroj - mazadlo - materiál - technologické podmínky** komplexně.

#### 2.2.1.6. TRIBOLOGICKÉ ZKOUŠKY

V oblasti tření, opotřebení a mazání je k dispozici celá řada zkušebních metod. Zvolení té nejlepší varianty při výzkumu tribologických součástí se volí podle složitosti a důležitosti daných reálných tribosystémů.

Získání přesných informací o reálném tribosystému je vždy velmi obtížné. Dále existují problémy i s přenosem výsledků zkoušek, které jsou získané na jednoduchých zkušebních vzorcích, na výrobek. Pro tyto důvody se dělají nejen zkoušky v laboratoři, ale i zkoušky na modelovém zkušebním zařízení a v ojedinělých případech přímo v běžném provozu.

Zde můžeme říci, že velikost třecí síly při tváření závisí na:

- Rychlosti posuvu plechu v nástroji.
- Mikrogeometrii povrchu substrátu.
- Druhu materiálu nástroje a stav jeho povrchu.
- Použitém mazivu při tažení.
- Velikostí kontaktního tlaku mezi materiálem a nástrojem.
- Druhu použitého substrátu (nepokovený, typ pokovení, chemickém složení povrchu použitého substrátu).
- Deformaci materiálu (mechanické vlastnosti materiálu, vypínání a posuvy plechu).

Uvědomme si, že tyto veličiny se však vzájemně podílí na tribologických dějích. A proto se často při vyhodnocování tribologických podmínek posuzují komplexně výsledky zkoušek pro soustavu nástroj-mazadlo-materiál-technologické podmínky, neboť je velmi obtížné hodnotit je odděleně.

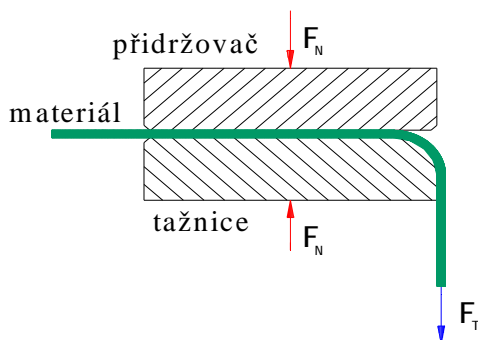
Tribologický výzkum v oblasti tváření plechů probíhá na úrovni zkoumání makromodelu. Kde získáváme údaje z vnějších měřitelných veličin tribologického systému. Mezi tyto veličiny především patří měření velikosti třecí síly při pohybu testovaného vzorku.



### 2.2.1.6.1. MODELOVÁNÍ TŘENÍ MEZI PŘIDRŽOVAČEM, TAŽNICÍ A TAŽNOU HRANOU

Z pohledu této diplomové práce je nejdůležitější test modelování tření mezi přidržovačem, tažnicí a tažnou hranou, neboť princip tohoto testu je používán na katedře stroj. technologie TU v Liberci. Tento test spolu s jeho výhodami a nevýhodami je kombinací metod popsanych v kap. 2.2.1.6.2..

Hodnotícím kriteriem pro tribologické vlastnosti je velikost síly potřebné pro protažení pásku  $F_T$ . Tento test je vidět na obr. 2.17.

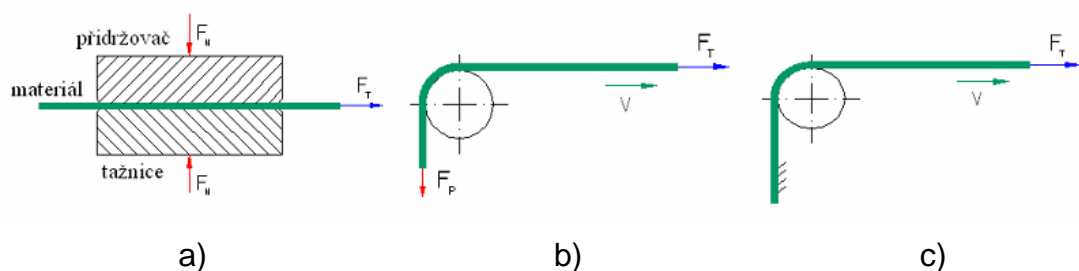


Obr. 2.17.: Modelování tření mezi přidrž., tažnicí a taž. hranou

### 2.2.1.6.2. DALŠÍ HLAVNÍ ZPŮSOBY TRIBOLOGICKÝCH ZKOUŠEK

Mezi hlavní metody tribologických zkoušek patří kromě modelování tření mezi přidržovačem, tažnicí a tažnou hranou také následující zkoušky:

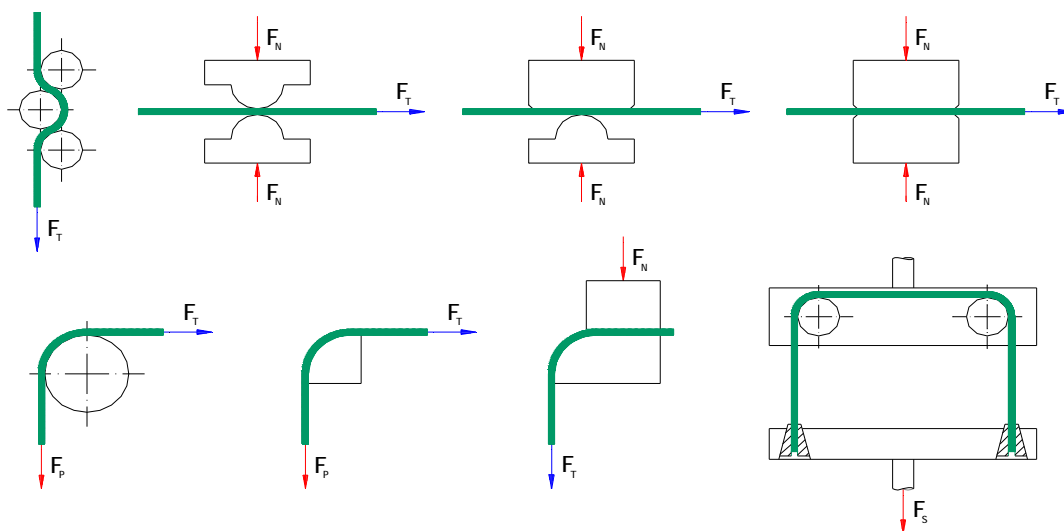
- **Modelování tření mezi tažnicí a přidržovačem** - je jedním z nejrozšířenějších testů protahování pásku testovaného materiálu mezi zkušebními čelistmi pro svou jednoduchost nastavení testovacích podmínek (obr.2.18.a).
- **Modelování tření na tažné hraně** - základem tohoto testu je tažení zkušební vzorku přes tažnou hranu tažnice, čili přes váleček o zvoleném poloměru  $R$ . Výhodou testu je snadnost nastavení rychlosti protahování zkoumaného vzorku (obr. 2.18.b).
- **Modelování vypínání přes tažnou hranu** - podstatou tohoto testu je tažení zkušební vzorku na jedné straně pevně uchyceného a na druhé straně pohybujícího se rychlostí  $v$  přes tažnou hranu tažnice (válcovou plochu) o poloměru  $R$  (obr. 2.18.c).



Obr.2. 18.: a) Modelování tření mezi tažnicí a přidržovačem,  
 b) Modelování tření na tažné hraně,  
 c) Modelování vypínání přes tažnou hranu

### 2.2.1.6.3. OSTATNÍ ZPŮSOBY TRIBOLOGICKÝCH ZKOUŠEK

Laboratorních zkoušek pro hodnocení tribologických vlastností testovaných mazadel a substrátů byla vyvinuta celá řada. Ve většině případů se však jedná o zkoušky technologické a výsledky z jednotlivých pracovišť nejsou však porovnatelné. Každá ze zkoušek na základě určitých hodnotících kritérií porovnává mezi sebou výsledky jednotlivých zkoušek pro určitou kombinaci testovaný substrát - testované mazivo - technologické podmínky. Příklady některých dalších používaných zkoušek pro hodnocení tribologických vlastností jsou uvedeny, bez dalšího komentáře, na obr. 2.19..



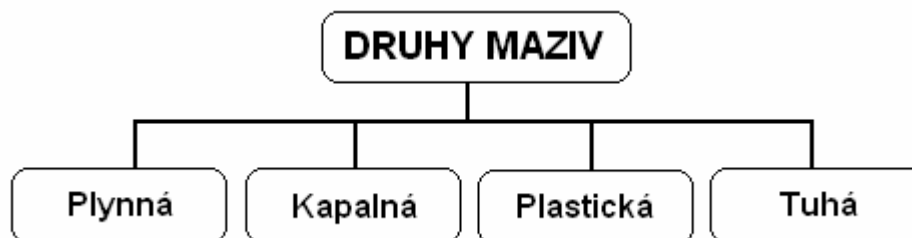
Obr. 2. 19.: Příklady tribologických zkoušek

Podrobnější informace o tribologických zkouškách viz. [5].

## 2.3. VÝZNAM MAZIV [5, 8, 10]

Mazivo je důležitým prostředkem při tvářecích procesech. Bez vhodného maziva by většina tvářecích procesů nebyla uskutečnitelná. Na jeho složení, vlastnostech a použití záleží životnost tvářecích nástrojů, povrchové vlastnosti tvářených materiálů a velikost tvářecí práce (potřeba energie). Z těchto úkolů vyplývají i požadavky na vlastnosti maziv. Jejich dále uvedený souhrn platí sice obecně, ale v jednotlivých procesech má každá z vlastností větší či menší význam, resp. některé z nich musí být pro daný tvářecí proces optimální.

V současné době se používá široká škála typů maziv, jejich použití záleží na účelu mazání a typu mazadla. Rozdělení maziv je znázorněno na obr. 2.20.



Obr. 2.20.: Druhy používaných maziv

### 2.3.1. MAZIVA PRO TVÁŘENÍ KOVŮ [8]

Ve strojírenské a hutní technologii se používá řady procesů tváření kovových materiálů. Maziva, která při nich slouží jako mazací a chladičí prostředky, jsou tu nepostradatelným pomocným činitelem a na jejich vhodném složení a vlastnostech záleží velikost energetických ztrát, kvalita povrchu tvářeného materiálu a životnost obráběcích nástrojů.

Požadavky kladené na složení a vlastnosti maziv jsou různé nejen z hlediska odlišných způsobů tvarování, ale i jednotlivé procesy mají své specifické nároky. Z toho důvodu se používaná maziva rozděluje na druhy pro třískové obrábění a na druhy pro tváření (beztřískové obrábění) kovových materiálů.

#### 2.3.1.1. MAZIVA PRO TVÁŘENÍ HLUBOKOTAŽNÝCH PLECHŮ

Dobré mazivo pro tváření hlubokotažných plechů má mít hlavně schopnost vytvářet únosné mazací filmy nebo filmy s optimálním koeficientem

tření, být nekorozivní, nevyvolávat barevné změny na povrchu kovů, nevytvářet lepivé úsady, být po použití snadno odstranitelné s povrchu kovu, být fyziologicky nezávadné, při použití nemá jeho zápach obtěžovat okolí, musí být tepelně stálé, aby v rozsahu teplot vznikajících při tváření neztrácelo potřebné vlastnosti (kapalná maziva musí mít dobrou smáčivost kovových povrchů a schopnost odvádět teplo).

Různorodost požadavků na vlastnosti maziv pro různé tvářecí operace je příčinou toho, že se používá maziv kapalných, plastických i tuhých.

Z kapalných maziv jsou to ropné, syntetické, živočišné a rostlinné oleje (nebo mastné kyseliny) bez přísad i s přísadami, nebo s přídavkem tuhých maziv (je-li požadována hlavně mazací funkce), ale i emulze, hlavně typu „olej ve vodě“ a vodné roztoky sodných a draselných mýdel (je-li potřeba intenzivního chlazení). Z plastických maziv přicházejí v úvahu měkká, tažná maziva v případech, kdy se požaduje velká mazací schopnost. Tuhých maziv se používá tehdy, kdy je žádoucí velmi únosný mazací film a nejsou kladeny zvláštní nároky na odvod tepla.

Volba maziva, jeho složení a vlastnosti musí být přizpůsobeny úkolům, které má mazivo při daném tvářecím procesu splnit, a vlivům, kterým je v pracovních podmínkách vystaveno. Z toho důvodu je možno rozdělit používaná maziva podle jednotlivých tvářecích procesů.

Úlohou maziva je zmenšit třecí sílu při tažném pochodu, ulehčit tím tok materiálu a zamezit studeným mikrosvarům, prodloužit trvanlivost nástrojů a zajistit požadované tolerance výlisku. Mazivo ovlivňuje napětí v materiálu, tj. poměr mezi třením vnější a vnitřní vrstvy taženého materiálu, a jeho vliv je tím větší, čím větší je poměr plochy styku tvářeného materiálu s nástrojem k jeho celkové ploše.

Třecí síly mohou mít na tažný proces kladný i záporný vliv. V případě, že umožňují požadovanou deformaci, jsou žádoucí. Brání-li žádané změně tvaru a zvyšují-li odpory, je snahou zmenšit je mazáním.

Vzhledem k velkým tlakům jde vesměs o smíšené až mezní tření. Z toho vyplývají požadavky na mazivo, které se liší podle druhu (pevnosti) taženého materiálu i podle obtížnosti (hloubky) tažení. Používají se čisté ropné cyklické oleje středně viskózní (kolem  $50 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$  při  $50^\circ\text{C}$ ) nebo méně viskózní (kolem  $20 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$  při  $50^\circ\text{C}$ ) s VT přísadou, např. s chlоровaným

tuhým parafínem, nebo s přísadou tuhého maziva (grafitu,  $\text{MoS}_2$ , talku, křídý,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{PbO}$  aj.), rostlinné oleje (nejčastěji řepkový olej) samotné nebo sířené, živočišné oleje a tuky (např. lůj, rybí olej), olejové emulze běžné i aktivované VT přísadami, vodné roztoky sodných nebo draselných mýdel i suchá prásko vitá mýdla. Tuhá maziva samotná (grafit,  $\text{MoS}_2$ ) se používají jen při lisování za tepla (tažení plechu do větší hloubky, nebo tažení plechů z legovaných ocelí o velké pevnosti a malé tažnosti).

Od tzv. víceúčelových maziv pro hluboké tažení plechů (např. plechů karosářských) se požaduje, aby měla nejen dobré mazací schopnosti, ale i konzervační vlastnosti a byla snadno odstranitelná s povrchu plechu. Takovými mazivy jsou středně viskózní rafinované ropné cyklické oleje s dobrou smáčecí schopností kovových povrchů, vybavené mazivostní přísadou a inhibitorem koroze.

Maziva lze rozdělit na tři základní druhy:

- technologická (jednofunkční),
- konzervační (dvoufunkční)
- prací oleje

### 2.3.2. NANÁŠENÍ MAZIV [10]

Nanášení maziva záleží na typu maziva, poněvadž každé mazivo má své charakteristické užité vlastnosti.

Technologická mazadla jsou nanášena na přístřih až před vlastním tažením a jsou nanášena podle tzv. mazacích plánů pouze na místa, kde chceme omezit vliv tření (přimazávání).

Konzervační mazadla jsou nanášena na plech již u výrobce - v hutích. V současné době je kladen podstatně větší význam na jejich konzervační schopnost (hlavní funkce), než na schopnost mazací - technologickou (vedlejší funkce).

Prací oleje mají velký význam zejména při tažení výlisků karosářského typu, u kterých je požadována vysoká kvalita povrchu (např. z důvodu dalšího zpracování povrchu lakováním).

Nanášení mazadel se v praxi provádí třemi způsoby:

- nástřikem - pomocí mazacího zařízení, jenž tryskami rozprašuje požadované množství maziva na povrch substrátu .

- válečkem - u mazadel, která nelze nanášet nástřikem ani po jejich zředění. Mazadlo je vtlačováno tlakem o konstantní velikosti do dutého čepu. Dutý čep je opatřen otvory vyvrtanými kolmo na osu otáčení a je potažen látkou či plstí. Mazadlo nasákne do textilního potahu a potom se nanese na materiál.
- praním - před zpracováním přístřihů na výrobu výlisků, procházejí nejdříve tzv. „pracími stroji“, kde se pomocí pracích olejů odstraňují veškeré nečistoty a konzervační olej z hutí. Z pracích strojů získáváme plechy ošetřené vrstvou pracího oleje.

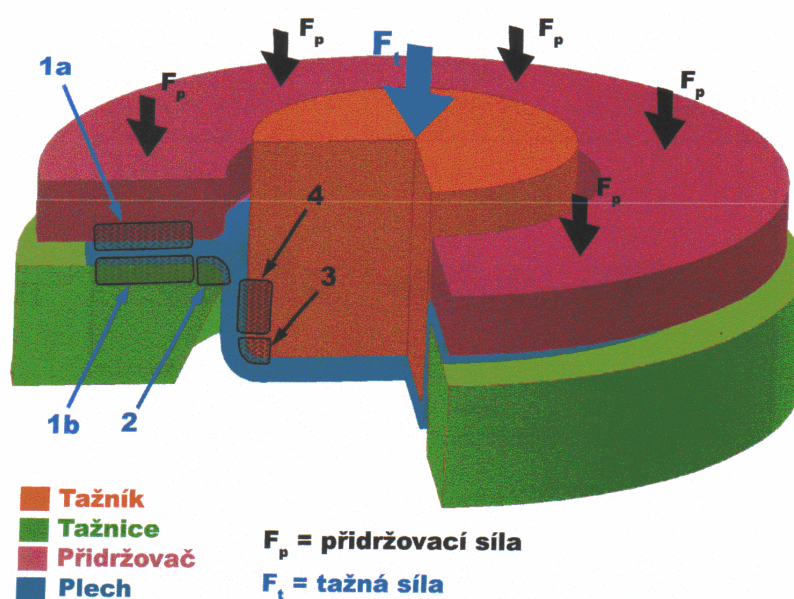
## 2.4. VÝZNAM NÁSTROJE [6, 11, 12, 13]

Tažné nástroje můžeme rozdělit podle různých hledisek. Podle typu tažné operace rozeznáváme nástroje pro první tah a nástroje pro další tahy. Z hlediska konstrukce tvářecího stroje máme nástroje pro jednočinné, dvojčinné, a trojčinné lisy. Z hlediska materiálu tažníku a tažnice rozeznáváme tažení pevnými a nástroji a tažení nepevnými nástroji (dále jen pevné nástroje).

Základními funkčními částmi nástroje jsou tažníky, tažnice a přidržovač viz. obr.2.21.. Jsou tvořeny složitými křivočarými plochami. Tvar tažníku je negativem vnitřního tvaru lisovaného dílu.

Pohybem tažníku ve směru lisování dojde k počátečnímu styku tažníku s polotovarem v ploše tvářeného plechu. Velikost a tvar této plochy je závislý na tvaru součásti a umístění výlisku do lisovací polohy. Velikost této plochy by měla být s ohledem na výše uvedené co největší. V další fázi pohybu tažníku dochází k vlastnímu tvarování výlisku. V této fázi tažné operace vznikají různé stavy napjatosti a přetvoření, které nelze předem přesně určit a musí se stanovit individuálně. Dochází k nerovnoměrnému vytahování plechu v oblasti příruby pod přidržovačem. V důsledku vzniku tahových napětí může docházet na povrchu výtažku ke vzniku vln a přeložek.

Přidržovač přitlačuje funkční plochou tvářený plech k povrchu tažnice a tím zamezuje tak nežádoucímu vzniku vln.



Obr. 2.21.: Schematické znázornění uspořádání v tažném nástroji



Vzniku vln v oblasti přidržovače nelze obvykle zabránit zvyšováním měrného tlaku na přírubu, nýbrž použitím dalších technologických zásahů, jako např.:

- volba technologických přídavek,
- určení tvaru a velikosti pracovní plochy přidržovače,
- umístění výlisku do lisovací polohy.

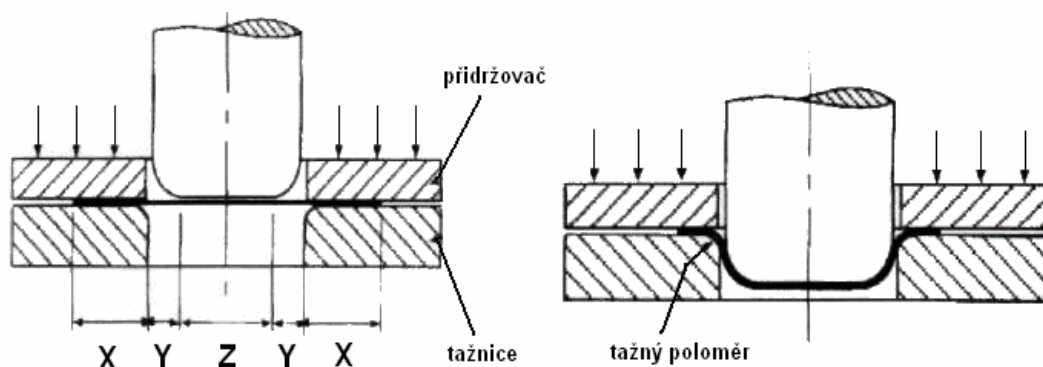
Před vlastní konstrukcí nástroje je důležité brát v úvahu i další - doplňkové technologické vlivy:

- volba vhodného druhu plechu,
- předlisování polotovarů,
- brzdění plechu v oblasti přidržovače (použití brzdících lišt),
- úprava tažné hrany tažnice,
- snižování koeficientu tření mazáním.

Ve všech etapách tažení se účastní tření v kontaktu mezi materiálem a nástrojem, kde je materiál v těchto oblastech podroben různému napětovému a deformačnímu stavu. Prakticky celá deformace při hlubokém tažení je realizována v zóně X,Y obr.2.22. tj. materiál postupuje z příruby a vlastní proces tažení probíhá na tažné hraně.

Pro kvalitu lisování jsou podstatné dvě oblasti:

- Oblast X jako „zásobárna“ materiálu
- Stěna výtažku Y, která musí přenést sílu vyvolující napětový stav plastizující přírubu



Obr. 2.22.: Hluboké tažení, počáteční kontakt a postupující tažení

Ke zvlnění vnějšího obvodu příruby dochází v okamžiku, kdy napětový stav tvořený (zjednodušeně) obvodovým tlakovým napětím  $\sigma_t$  a



radiálním tažným napětím  $\sigma_r$  přestoupí kritickou hodnotu, která vede ke ztrátě stability obvodu polotovaru.

Ztráta stability závisí na vlastnostech materiálu vyjádřených plastickým modulem zvlnění  $E_0$  a na relativních rozměrech polotovaru.

$$E_0 = \frac{4ED}{\left(\sqrt{E} + \sqrt{D}\right)^2} \quad (14)$$

kde  $E$  je modul pružnosti

$D$  je modul plasticity

Pomocí současných simulačních systémů založených na metodě konečných prvků (např. systém PAM-STAMP) lze ztrátu stability příruby modelovat a stanovit příslušný přidržovací tlak, který by ji eliminoval. Obecně jsou však dosud v praxi používány podmínky ztráty stability stanovené analyticky podle GEKLERa (1928) a SENIORa (1954), nebo empiricky ze vztahu.

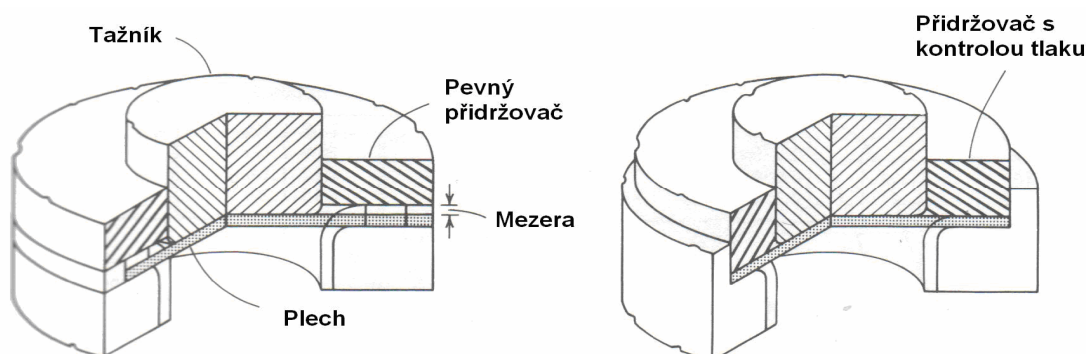
$$0,46\left(\frac{t_0}{d_0}\right) \leq \frac{\sigma_t}{E_0} \leq 0,58\left(\frac{t_0}{d_0}\right) \quad (15)$$

kde  $t_0, d_0$  jsou počáteční rozměry přístřihu

$\sigma_t$  obvodové tlakové napětí

#### 2.4.1. PŘIDRŽOVAČE [6, 12, 13, 14, 15]

Mezi základní technologické vlivy, které zásadním způsobem rozhodují o vhodnosti navrženého nástroje a nákladech uvažované operace patří především správná volba umístění výlisku do lisovací polohy. S určením lisovací polohy souvisí i další technologická rozhodnutí, především velikost a rozložení technologických přídavek a určení tvaru plochy přidržovače.



Obr. 2.23.: Pevný přidržovač a přidržovač s kontrolou tlaku

Po stanovení lisovací polohy a velikosti technologických přídavek následuje určení tvaru pracovní plochy přidržovače. Tvar přidržovače musí být takový, aby se při procesu deformace netvořily pod přidržovačem vlny a přeložky. Toho lze dosáhnout tehdy, jestliže je možné ohnout rovinný plech do tvaru plochy přidržovače bez délkových deformací střední roviny plechu. Při určování správného tvaru přidržovací plochy se dbá na celkovou technologii tažení, zejména na velikost a rovnoměrnost hloubky tažení, rozložení technologických přídavek a návaznost dalších operací. Ukázka funkce přidržovače je znázorněna na výsledcích tažení na obr.2.24. hluboké tažení s přidržovače a obr.2.25. hluboké tažení s chybně nastaveným přidržovačem. Při tažení s pevným přidržovačem může docházet k výrobě zmetků, neboť se zde zanedbává vliv úbytku materiálu v oblasti příruby během procesu tažení. V těchto případech je pevný přidržovač nahrazen přidržovačem s kontrolou tlaku. Oba druhy přidržovačů v tažných nástrojích jsou znázorněny na obr.2.23.

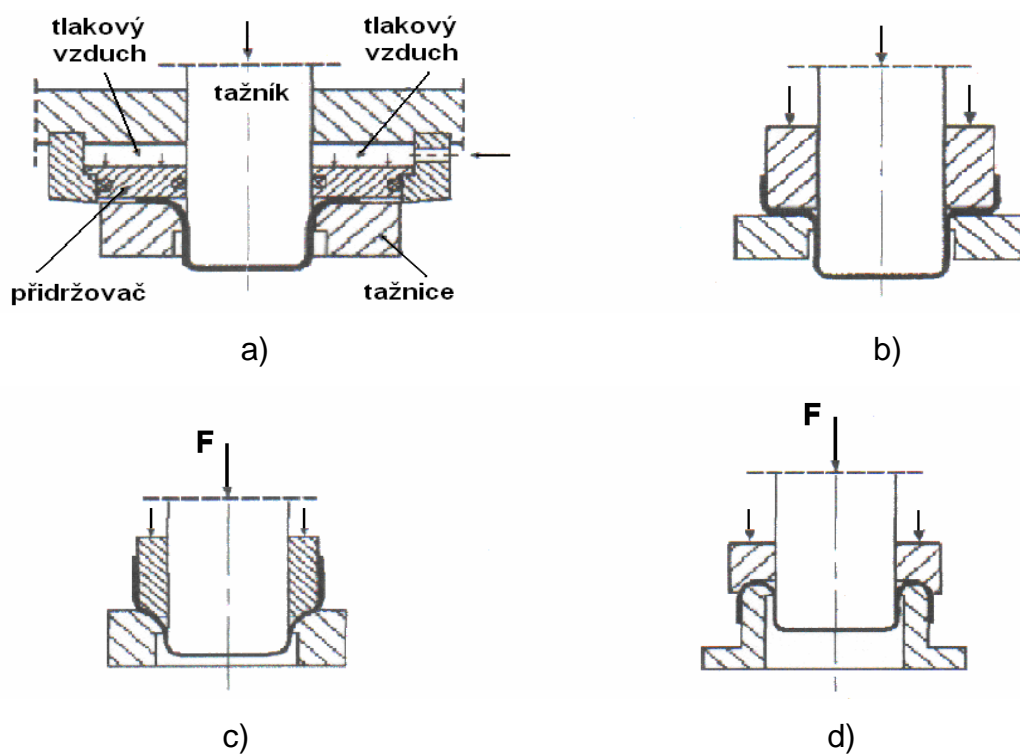


*Obr. 2.24.: Hluboké tažení s přidržovačem*



Obr. 2.25.: Hluboké tažení s chybně seřízeným přidržovačem

Další typy a konstrukční uspořádání nástrojů v tažném nástroji je znázorněno na obr.2.26..



Obr. 2.26.: Hlubokého tažení a) prvý tah s přidržovačem, b,c) další tahy s přidržovačem, variace nástrojů, d) zpětné tažení



Přidržovače mají různý systém činnosti a různé konstrukční provedení, které závisí od typu konstrukce tažného nástroje i druhu a vybavení použitého lisu. U jednočinných lisů se používá přidržovačů :

- Mechanických
- Pevných (u těch je nastavena, místo přidržovacího tlaku, mezera)
- Pružinových (mají nepříznivou tlakovou charakteristiku, přidržovací síla během tažení stoupá se zvětšujícím se předpětím pružiny)
- Pneumatických
- Hydraulických nastavitelnou charakteristiku, ale technicky složitější a tedy dražší)

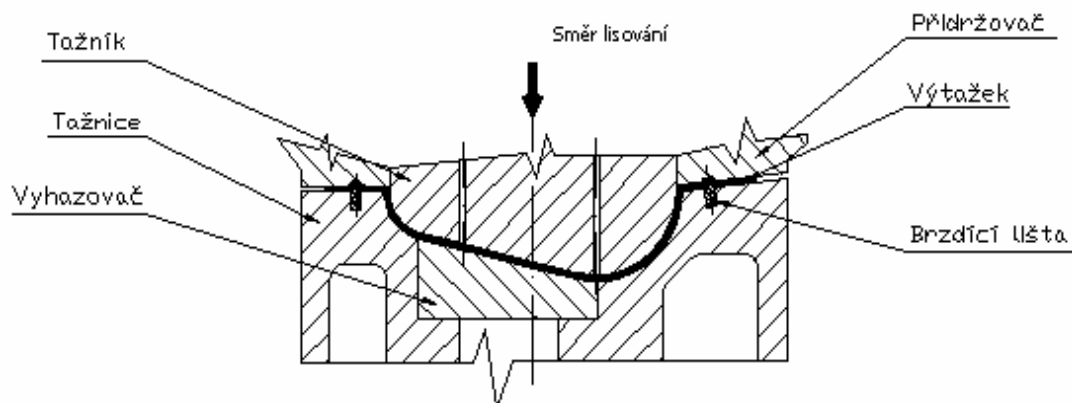
U dvojčinných lisů je přidržovač poháněn vnějším beranem lisu prostřednictvím vačkového, vačko-pákového nebo kliko-pákového mechanismu.

#### **2.4.1.1. BRZDNÉ LIŠTY**

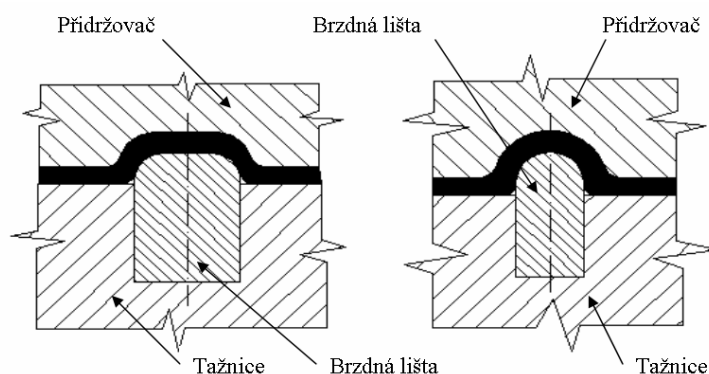
Pod pojmem brzdící lišta rozumíme žebro vytvořené pod přidržovačem za účelem přibrzdění tvárného materiálu. Brzdící lišty jsou součástí téměř každého tažného nástroje a používají se k řízení toku plechu do tažnice v průběhu tažení u lisování velkých nesymetrických výlisků. Brzdící lišty náleží k nejúčinnějším způsobům, jak zvyšovat intenzitu brzdění plechu v oblasti přidržovače a tím měnit podmínky stavu napjatosti a stupně přetvoření v jednotlivých místech výlisku. Vytvořením vhodného stavu napjatosti a stupně deformace ovlivňují podstatně proces tvarování plechu. Zabraňují zvlnění plechu na výliscích a účelně snižují sílu, resp. tlak přidržovače.

Umístěním brzdících lišt, jejich tvarem, počtem a uspořádáním se docílí místního brzdění plechu zvyšováním tahových napětí.

Brzdící lišty se používají převážně u mělkých velkorozměrných výtažků karosářského typu. Na obr.:2.27. je schematicky znázorněno umístění brzdící lišty v tažném nástroji a na obr.: 2.28. jsou základní typy brzdících lišt.



Obr. 2.27.: Schématické znázornění umístění brzdících lišt na tažném nástroji.

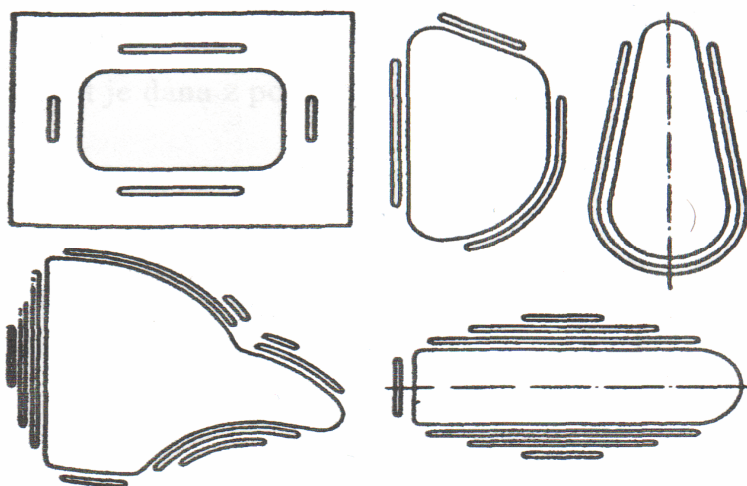


Obr. 2.28.: Základní typy brzdících lišt na tažném nástroji

Tvarová úprava tažné hrany má při tažení nepravidelných výlisků karosářského typu obdobný význam jako používání brzdících lišt. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že se používá k celkovému brzdění, neboť se provádí po celém obvodu nástroje. Tato úprava dovoluje použít menších technologických přídavek, odpadá nebezpečí vylomení tažné hrany (tvar je vypracován přímo na vlastním nástroji nebo na tažné vložce). Úprava tažné hrany je však nákladnější, neboť vzniká větší odpad legovaného materiálu. Též obtížnější slícování nástroje je nevýhodou. Nejjednodušším případem úpravy tažné hrany je změna poloměru zaoblení tažné hrany po obvodu výtažku.

Při tažení velkých nepravidelných výlisků vzniká na zaoblených částech a v rozích prostoru tažnice tlakové napětí a tvářený materiál je mnohem intenzivněji sevřen, než na rovných částech, kde se během tažení polotovaru prakticky pouze ohýbá přes zaoblenou hranu tažnice. Při tažení na

dvojčinném lisu, u kterého se neseřizuje jen tlak přidržovače, ale i mezera mezi tažnicí a přidržovačem, může způsobit zvětšení tloušťky příruby v rozích porušení výtažku. Abychom tomu v takovém případě předešli, zvětšíme mezeru mezi tažnicí a přidržovačem. Takové místní zvětšení mezery v rozích tažnice snižuje velikost sevření polotovaru v těchto místech a vytváří vhodné podmínky pro vtažení přebytečného materiálu do tažnice. To však často vede ke vzniku vln a někdy i přeložek na povrchu tažené součásti. Proto k vyrovnání velikosti přibrzdění pod přidržovačem v rozích a na rovných úsecích tažnice je třeba na rovných úsecích použít brzdících lišt. Příklady uspořádání brzdících lišt jsou na obr. 2.29.



Obr. 2.29.: Uspořádání brzdících lišt u různých tvarů výtažků

#### Výhody brzdících lišt

- U mělkých nepravidelných výlisků dovolují získat v jednotlivých místech potřebný stav napjatosti a stupeň přetvoření za účelem maximálního využití plasticity plechu a dokonalého tvarování plechu.
- Různým tvarem, uspořádáním a počtem brzdících lišt lze docílit široký rozsah intenzity brzdění.
- U dvojčinných lisů dovolují zvyšovat interval nastavení polohy přidržovače.
- U složitých zborcených ploch dovolují snižovat nároky na přesnost obrobení povrchu tažnice a přidržovače tažného nástroje.
- Umístění brzdících lišt činí celý proces stabilnější. Zvyšuje se životnost plochy tažnice a přidržovače, čímž se předchází vzniku vln.

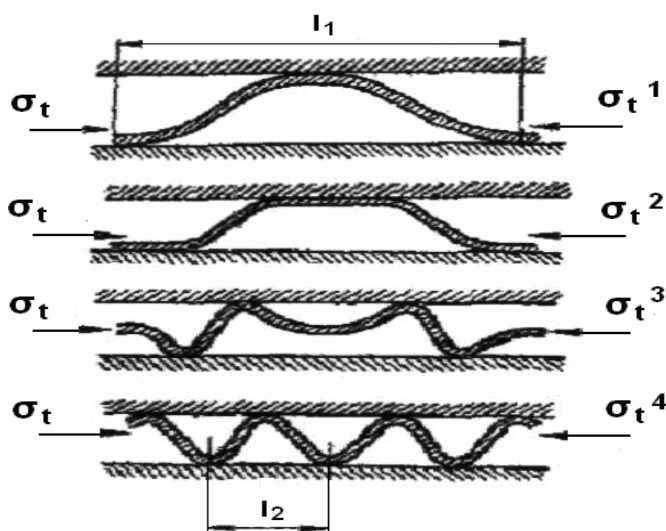
### Nevýhody brzdících lišt

- V důsledku intenzivního brzdění plechu a velké citlivosti na zvyšování tahových napětí dochází k místnímu zpevňování plechu a vyčerpání plasticity.
- Tvar, velikost, počet a umístění brzdících lišt se provádí experimentálně při zkoušení nástroje, což je značně nákladné.
- Nesprávné umístění lišt nepříznivě ovlivňuje konečný tvar výlisku, zejména rozměrovou přesnost po odstřížení přídavek.

### 2.4.2. ZVLNĚNÍ [6, 13, 14, 15]

U tažení součástí z tenkého plechu mají hlavní úlohu tahová napětí, která při dosažení kritických hodnot způsobují ztrátu stability - trhání plechu. Maximální stupeň přetvoření bez porušení soudržnosti materiálu je obecně určen stavem napjatosti a materiálovými vlastnostmi plechu.

Na obr.2.30. je znázornění schéma tvorby vln vzniklých v závislosti na podmínkách tažení. Tvoření vln je závislé na druhu a tloušťce výchozího materiálu a stupni deformace. V obrázku jsou zaneseny veličiny  $l_1, l_2$  (délka periody vln) a  $\sigma_t$  (tečná napětí).



Obr. :2.30.: Schéma tvorby vln

Vlny vznikají v důsledku zborcení plechu při určitých stavech napjatosti, a sice při kombinaci: tah – tlak. Při tažení velkorozměrových, zejména mělkých nepravidelných výtažků karosářského typu se objevují nejčastěji dva typy vln:

- Vlny, které vznikají v oblasti přidržovače v důsledku nesprávného určení technologických vlivů (např. nesprávný tvar brzdící lišty, chybné určení počátečního tlaku přidržovače či jeho nastavení, atd.). Tyto vlny mohou být příčinou trhám plechu a vzniku přehybů.
- Druhým typem vln na povrchu výlisku jsou ty, které vznikají v okrajových částech výlisku v důsledku nepříznivého stavu napjatosti. Vzniku těchto vln je možné zamezit vhodnou volbou technologických zásahů a tím měnit intenzitu místního brzdění plechu v oblasti přidržovače zvyšováním tahových napětí.

Vzniku vln viz obr.2.31. lze s přehledem předcházet v tažných nástrojích regulací tlaku v přidržovači.

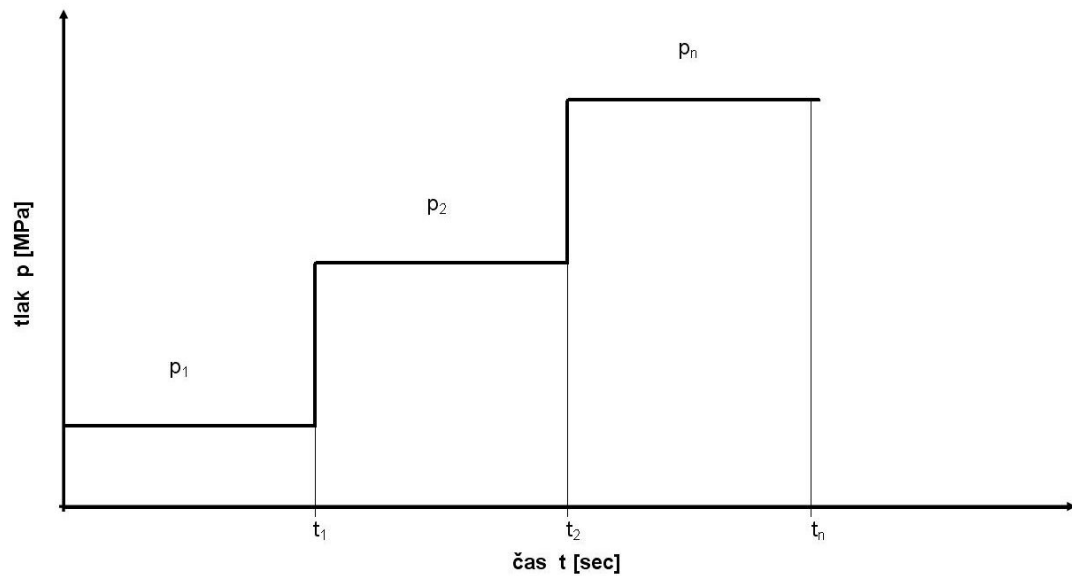


*Obr. :2.31.: Ukázka vzniklých vln na výlisku*

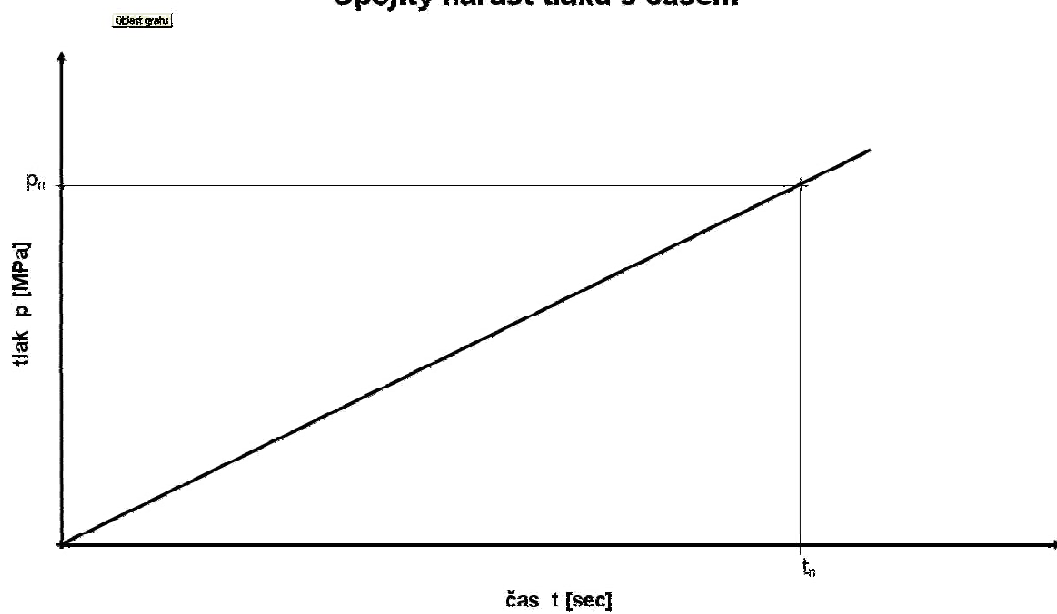
#### **2.4.3. REGULACE TLAKU [5]**

Základní funkcí přidržovače je regulace tlaku, aby při tažení a vtahování materiálu, kde jeho plocha v oblasti příruby se zmenšuje a velikost tlaku vyvozeného přidržovačem tak zabránila vzniku vln. Jelikož optimální hodnota tlaku na přidržovači je důležitým parametrem ovlivňujícím kvalitu konečného výlisku, cílem diplomové práce bylo porovnat dvě metodiky nastavení regulaci tlaku. V praxi nárůst tlaku závisí na hloubce tažení, z toho vyplývá, že jeho hodnoty se budou lišit na základě jednotlivých tvářecích operací, kde v jednotlivých krocích tažení tlak může narůstat spojitě (viz obr. 2.32.) nebo může mít diskrétní charakter (viz obr. 2.33.).



**Diskrétní nárůst tlaku s časem**

Obr. 2.32.: Znázornění průběhu diskrétního nárůstu tlaku na čase.

**Spojité nárůst tlaku s časem**

Obr. 2.33.: Znázornění průběhu spojitého nárůstu tlaku na čase.

### 3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem předkládané diplomové práce je provést měření pomocí laboratorních zkoušek protahování pásku modelujícího proces tažení pro hodnocení tribologických vlastností. Experimentální výsledky napodobňující reálné podmínky vzniklé během tažení karosářských výlisků jsou vyhodnoceny s ohledem na zadané podmínky testování a zjišťován koeficient tření, který byl stanoven jako kritérium hlubokotažných plechů při posuzování jednotlivých regulací tlaku.

**Cíle diplomové práce v závislosti na technologických podmínkách zadání lze sepsat následovně:**

- naměřit hodnoty sil potřebných pro tažení pozinkovaných plechů pro zvolené rychlosti (1; 10 mm/s)
- zjistit koeficient tření při tažení pozinkovaných plechů pro zvolené rychlosti za působení diskrétního tlaku
- zjistit koeficient tření při tažení pozinkovaných plechů pro zvolené rychlosti za působení spojitého nárůstu tlaku
- posoudit vzájemný vztah vybraných technologických parametrů (rychlosti, tlaku, teplota a substrát) na výsledcích zkoušek za působení diskrétního a spojitého nárůstu tlaku

**Experimenty lze shrnout do následujících bodů:**

Zjistit koeficient tření:

- v závislosti na kontaktním tlaku diskrétním a spojitým
- v závislosti na rychlosti posuvu plechu
  - a) pro rychlost (1 mm/s)
  - b) pro rychlost (10 mm/s)

Popsat výsledky zkoušek za působení diskrétního a spojitého nárůstu tlaku s ohledem na koeficientu tření.

V experimentální části diplomové práce jsou pomocí zkoušky protahování pásku hodnoceny tribologické vlastnosti za působení diskrétního a spojitého nárůstu tlaku.

Pro standardní tribologickou zkoušku protahování zkušebního pásku na tribologickém zařízení za účelem získání tažné síly  $F_T$  a následného vypočítání koeficientu tření. Zkouška modelování tření pomocí protahování pásku se běžně provádí v rozsahu kontaktních tlaků 0,5 až 8MPa. Tyto tlaky se blíží rozsahu tlaků, které se běžně vyskytují při lisování pod přidržovačem.

Když maximální možná síla  $F_T$ , která ještě nezpůsobuje přetržení vzorku dle vztahu (16) se dosadí do vzorce (17), pak vychází, že při současné ploše čelistí 40x78mm maximální kontaktní tlak mezi čelistmi, při kterém se vzorky pásků ještě nebudou trhat je cca 14MPa. Výpočet předpokládá hodnotu koeficientu tření 0,1. Záměrem však bylo zkoušet kontaktní tlaky působící za diskretního a spojitého nárůstu tlaku v rozmezí hodnot od 0MPa do 5MPa, tedy hodnot vycházejících ze sériových podmínek v praxi. Počáteční sledovaná hodnota měření byla stanovena na 2MPa to je hodnota, která je již použitelná v praxi. Horní hodnota byla omezena na 5MPa to je hodnota kdy ještě nedochází k přetržení měřeného vzorku hlubokotažného plechu.

$$F_T \max = S_{pr} \cdot Rm \quad (16)$$

kde:  $S_{pr}$  je průřezová plocha pásku

$Rm$  je mez pevnosti materiálu

$F_{max}$  je maximální síla

$$p_{\max} = \frac{F_T}{2 \cdot S \cdot m} \quad (17)$$

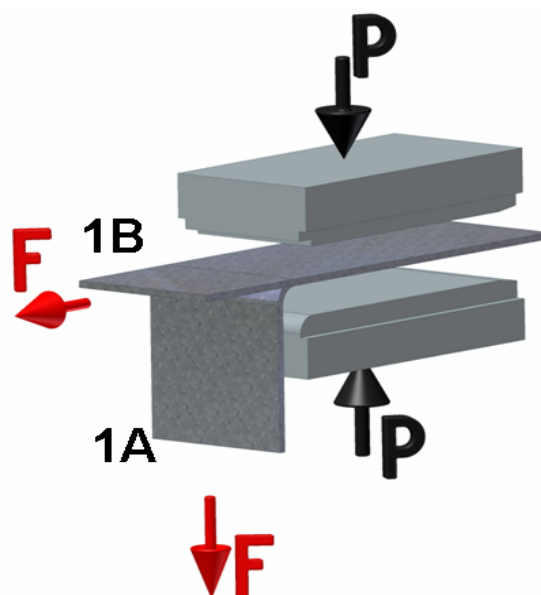
kde:  $S$  je plocha čelisti

$p_{\max}$  je tlak, při kterém se netrhají vzorky daného průřezu

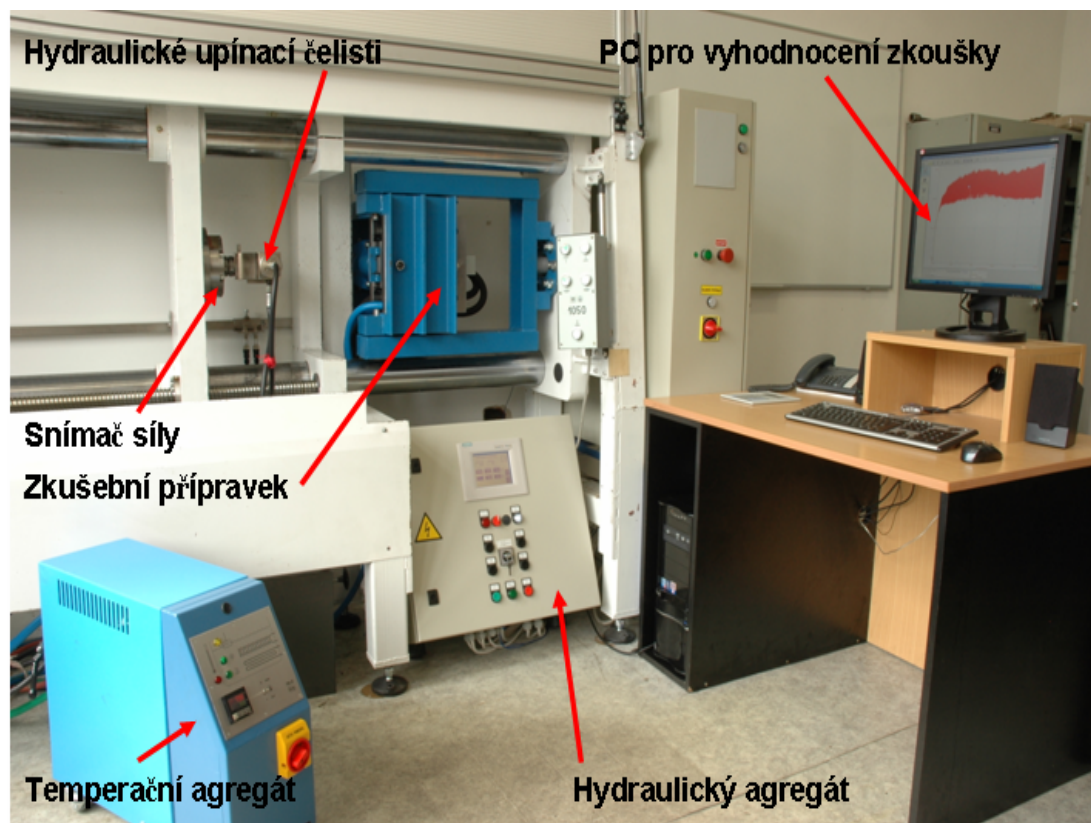
### 3.1. POPIS MĚŘÍCÍHO ZAŘÍZENÍ PRO TRIBOLOGICKÉ ZKOUŠKY [10]

Pro hodnocení morfologie plechu, konzervačních, technologických mazadel a vlastností materiálu lisovacích nástrojů bylo na katedře strojírenské technologie TU v Liberci ve spolupráci se Škoda Auto, a.s. Mladá Boleslav vyvinuto zkušební zařízení pro tribologické zkoušky. Vysokorychlostní měřicí zařízení umožňující zkoušení rychlostmi v rozmezí hodnot 1 mm/s až 400 mm/s, bylo na katedře strojírenské technologie TU v

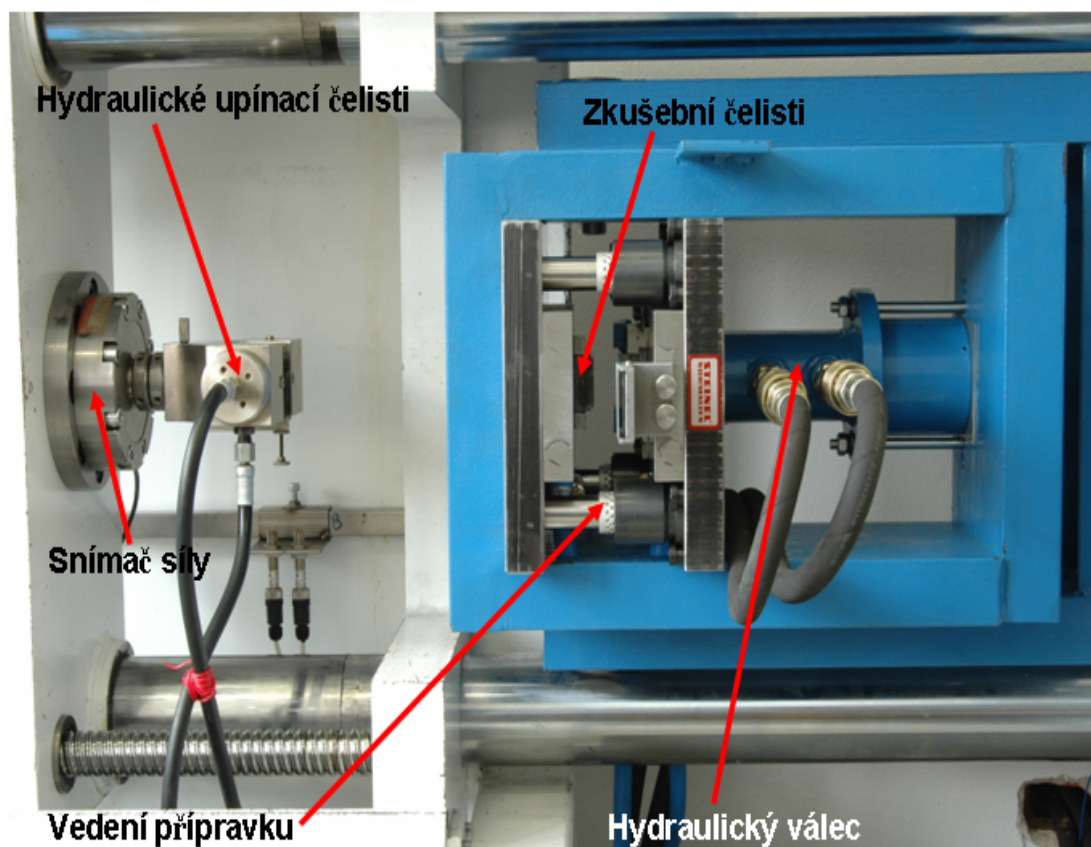
Liberci. Konstrukce zkušebního zařízení je výsledkem dlouholeté praxe zabývající se danou problematikou a technologických požadavků a metod měření. Funkční část zkušebního přípravku je tvořena dvěma výměnnými čelistmi. Jedna z čelistí je pevná a druhá je ovládaná pomocí hydraulického systému, který umožňuje vyvození požadovaného druhu tlaku na protahovaný pásek při tribologických testech. Vzorek plechu o šířce 44 mm je protahován konstantní rychlostí mezi čelistmi zkušebního přípravku. Velikost kontaktní plochy je dána šířkou (40 mm) a délkou (78 mm) funkční plochy čelistí. Tribologické zařízení má rozsah nastavení rychlostí posuvu v rozmezí hodnot  $v = 1$  až 400 mm/s. Délka protahovaného pásu se mění v závislosti na rychlosti protahování pásu. Konstrukce přípravku umožňuje modelovat podmínky v oblasti tažné hrany tažnice (varianta 1A) a v oblasti přidržovače (varianta 1B). Změna variant se provádí natočením přípravku o 90°. Konstantní teplotu, při které probíhá zkouška zajišťuje temperační okruh. Princip zkoušky je vidět na obr. 3.1.. Zkušební zařízení Sokol 400 a přípravek je vidět na obr. 3.2. a 3.3..



Obr.. 3.1.: Princip zkoušky používané na TU v Liberci



Obr. 3.2.: Uspořádání měřícího pracoviště



Obr. 3.3.: Zkušební přípravek

### 3.2. PRINCIP ZKOUŠKY

Princip zkoušky spočívá v protažení pásku zkoumaného plechu s danými rozměry za předem definovaných technologických podmínek (rychlost posuvu, kontaktní tlak, množství a druh použitého mazadla) mezi čelistmi (nástrojem) zkušebního přípravku. Pro dosažení námi požadovaného kontaktního tlaku, který v našem případě má diskrétní nebo spojitý nárůst mezi čelistmi je použit hydraulický systém, který je připojen k měřicímu přípravku. Hydraulický agregát ovládá hydraulický válec s pohyblivou deskou, na které je připevněna čelist. Požadovaný tlak je měřen manometrem, který je napojen na hydraulický obvod. Na hydraulickém okruhu je napojen akumulátor, který vyvozuje v celém systému diskrétní nebo spojitý nárůst tlaku. Tlak v systému je regulován škrťacím ventilem. Při posuvu pásku zkoušeného plechu je pomocí měřicí hlavy s tenzometrickým snímačem přes měřicí kartu do PC zaznamenávána velikost síly a vzniká tak registrační záznam, který je podkladem pro další zpracování a vyhodnocení námi požadované určené hodnoty, koeficientu tření.

### 3.3. ZPŮSOB VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY

Pro srovnání tribologických vlastností slouží záznamy průběhů tažných sil v závislosti na protahované délce. V průběhu zkoušky dochází ke změně velikosti síly potřebné k protažení pásku a graf lze tak rozdělit na dvě hlavní části. Část náběhovou a část ustálenou. Část náběhová je důležitá hlavně pro vyhodnocování metodou 1B, kde důležité je zjištění velikosti  $F_{max}$  jako počáteční síly. Tuto oblast omezuje zadáním  $L_{mez}$  tj. hodnotou posuvu, od které dochází k vyhodnocování protahovaného pásku. V ustálené části pak slouží k popisu hodnota síly  $F_s$ ,  $F_h$  a  $F_{min}$ .

Mezi měřené veličiny patří:

$F_{max}$ : maximální velikost síly, které bylo při zkoušce dosaženo na celé dráze

$F_{min}$ : minimální velikost síly, které bylo dosaženo za hodnotou  $L_{mez}$

$F_s$ : střední velikost síly v ustálené oblasti diagramu

$F_h$ : maximální velikost síly, které bylo dosaženo za hodnotou  $L_{mez}$

$\Delta F$ : velikost rozkmitu síly v ustálené oblasti měření



Ukázka jednoho z typických průběhů pracovního diagramu - viz obr.3.4.. Nutno dodat, že se mohou objevovat i další druhy záznamů, (např.: vzrůstající síla v ustálené oblasti, rychlý náběh na výraznou sílu  $F_{max}$  s následujícím "utržením,, a ustálením na hodnotě  $F_h$  atd.)

Výpočet koeficientu tření při použití zkoušky protahování pásku metodou 1B je pro jednotlivé podmínky testu dán jednoduchým vztahem:

$$m_{střední} = \frac{F_s}{2F_N} \quad (18)$$

$F_s$ : střední síly, které bylo dosaženo v ustálené oblasti diagramu

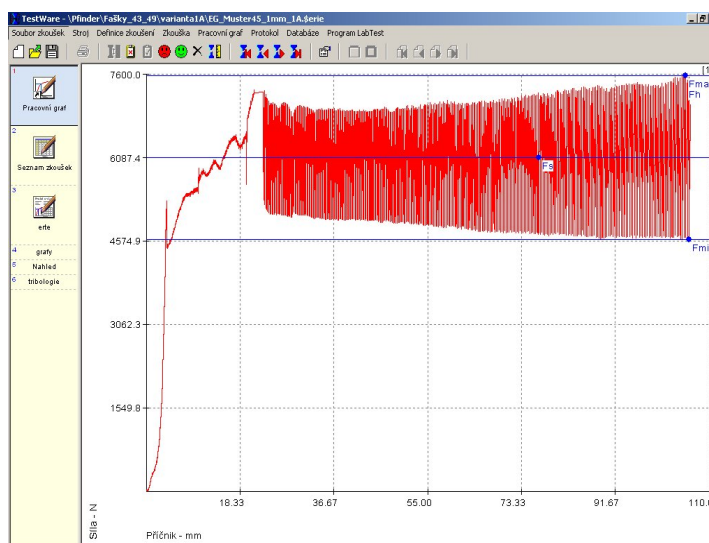
$F_N$ : normálová přitlačná síla.

$$F_N = p \cdot S \quad (19)$$

$p$ : je tlak

$S$ : je plocha čelistí

Vztahů (18) a (19) je použito pro výpočet koeficientu tření v této diplomové práci.



Obr. 3.4.: Průběh pracovního diagramu zkoušky protahování pásku

### 3.4. PODMÍNKY ZKOUŠKY

Proces tváření je ovlivněn velkým množstvím faktorů, které ovlivňují tažení samotné, ale i kvalitu výlisku. Pro obsáhlost množství faktorů do tribologického systému vstupujících, bude testování provedeno pouze pro omezený počet technologických parametrů.

Experimentální měření bylo zaměřeno na zjišťování vlivu druhu testovacího substrátu, rychlosti posuvu, velikosti a druhu kontaktního tlaku v přidržovači, teplota a množství maziva.

### 3.4.1. POUŽITÝ NÁSTROJ

Při zkoušce byly použity čelisti zkušebního přípravku:

Tvárná litina GGG70L:

(označení VW dle normy DIN 1693) bez tepelného zpracování

Tvrdość: 210-220 HB 2,5/62,5 (252-260HV 30,18HRc)

Chemické složení:

C = 3,2-3,4%, Mn = 0,3-0,8%, P ≤ 0,05%, S ≤ 0,01%,

Si = 1,8-2,4%, Cu ≈ 1,0%, Ni ≈ 1,0%, Mo ≈ 0,5%

Drsnost čelistí:

Ra = 0,06 μm, Rz = 0,67 μm

Kontaktní plocha čelistí:

S = 3120 mm<sup>2</sup> (78x40 mm)

### 3.4.2. POUŽITÝ TESTOVANÝ SUBSTRÁT

Pro měření experimentu byly použity dva typy hlubokotažných ocelových plechů používaných v automobilovém průmyslu na výrobu karosářských dílů. Jedná se o plech HDG (obr.3.6.) žárově pozinkovaný a EG (obr.3.5.) elektrolyticky pozinkovaný. Rozměry a mechanické vlastnosti hlubokotažných ocelových plechů jsou uvedeny v tabulce 1.

materiál: **HDG – EDT**

označení: DX54D+Z100-MBO

výrobce: Arcelor Group, Belgie

spr = 0,8 mm

Ra = 1,36/1,23 μm

RPc = 70/83 cm<sup>-1</sup>

Rm = 292 MPa,

Rp0,2 = 155 MPa

A80 = 42,55%

r = 1,92

materiál: **EG**

označení: DC05+ZE50/50 BPO

výrobce: Salzgitter AG, Rakousko

spr = 0,79 mm

Ra = 1,23/1,31 μm

RPc = 86/91 cm<sup>-1</sup>

Rm = 295 MPa

Rp0,2 = 164 MPa

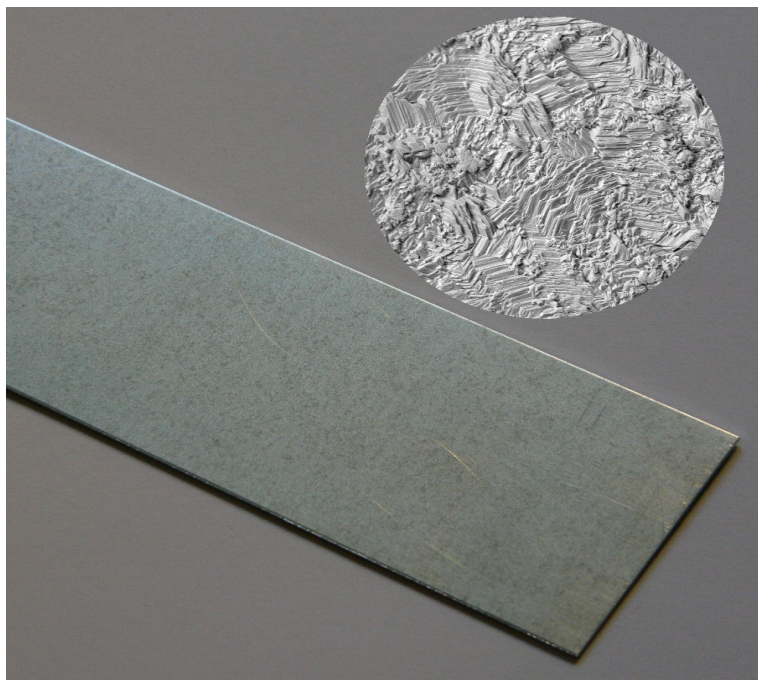
A80 = 44,13%

r = 1,89

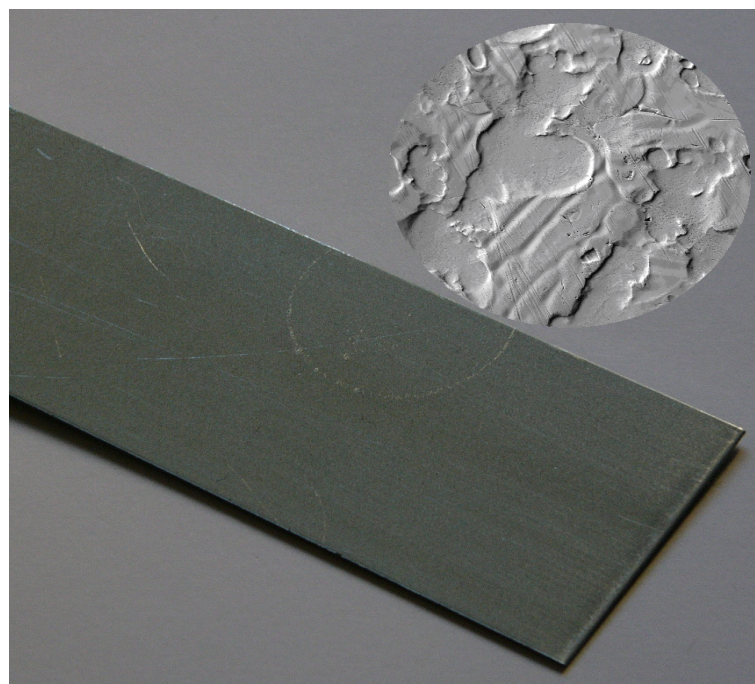


Tabulka 1.: Rozměry vzorků pro jednotlivé materiály

Materiál	EG	HDG
Tloušťka pásku $s_{pr}$ [mm]	0,79	0,8
Šířka pásku $b$ [mm]	$44 \pm 0,2$	$44 \pm 0,2$
Diskrétní nárůst tlaku - délka pásku $l_1$ [mm] pro příslušnou rychlost $v$ [mm/s]	$550 \pm 1$ ( $v=1; 10$ mm/s)	$550 \pm 1$ ( $v=1; 10$ mm/s)
Spojitý nárůst tlaku - délka pásku $l_2$ [mm] pro příslušnou rychlost $v$ [mm/s]	$850 \pm 1$ ( $v=1; 10$ mm/s)	$850 \pm 1$ ( $v=1; 10$ mm/s)



Obr. 3.5.: Vzorek substrátu EG

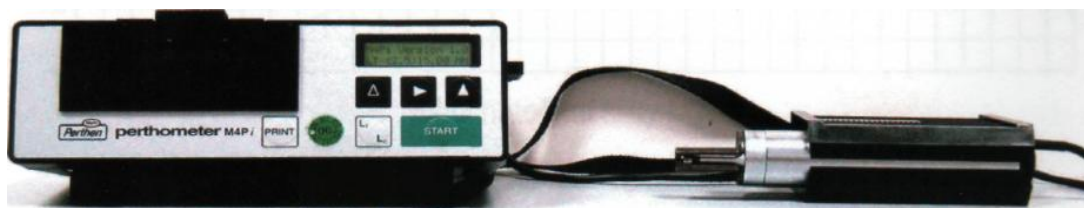


Obr. 3.6.: Vzorek substrátu HDG

### 3.4.3. MĚŘENÍ MIKROGEOMETRIE NÁSTROJE A VZORKŮ [5]

#### Měřicí zařízení

Drsnost povrchu testovaného materiálu byla měřena ve spolupráci se Škoda Auto, a.s. Mladá Boleslav. Pro měření drsnosti povrchu plechu byl použit drsnoměr PERTHOMETR M4Pi (viz.obr.3.7.). Tento přístroj je přizpůsoben pro měření drsnosti, vlnitosti a parametru profilu plechu podle norem DEN, ISO, JIS.



Obr.3.7.: Drsnoměr Perthometer M4Pi

#### Princip měření

Měřicí přístroj PERTHOMETR M4Pi pracuje vždy s jedním z pěti možných programů. Přiložený snímač na testovaný materiál měří drsnost povrchu na ploše  $37,5 \text{ mm}^2$ . Jedná se pruh o konstantní šířce 2,5 mm a délce pohybující se v intervalu od 0 do 15 mm. Pohyb posuvu jezdce je stanoven výrobcem přístroje na  $1,0 \text{ mm.s}^{-1}$ . Měřicí podmínky nastavené pro měření povrchu materiálů vycházejí z DIN EN ISO 4288:1998 a DIN EN ISO 3274:1998.

Přístroj provádí měření v šesti cyklech, z nichž se jeden (s největším rozptylem hodnot) automaticky odfiltruje. Výsledkem jsou průměrné hodnoty zjištěné z pěti nezávislých cyklů. Měření proběhlo přiložením měřicího snímače na povrch nástroje ve směru rovnoběžném a kolmém vůči směru protahování pásků v čelistech.

### 3.4.4. POUŽITÉ MAZIVO

Pro vytvoření kvalitních karosářských výlisků vyráběných z plechových svitků nebo tabulí, je substrát nakonzervován z hutí konzervačním olejem, který se před vlastním lisováním již neodstraňuje. Jelikož mazivo slouží jako ochrana plechů proti korozi a také zlepšuje tribologické podmínky při lisování je nutné zohlednit přítomnost maziva.

Při zjišťování vlivu lisovacích parametrů bylo použito antikorozi mazivo **ANTICORIT PL 3802–39LV** tzn. ochranný antikorozi olej i tvářecí mazivo. Vlastnosti maziva jsou v tabulce 2.

*Tabulka 2.: Vlastnosti maziva*

Typ oleje	ACPL 3802-39LV
Viskozita při 40°C [mm <sup>2</sup> /s]	17
Hustota při 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	890
Bod vzplanutí [°C]	150

#### 3.4.5. RYCHLOST POSUVU

Měření bylo prováděno na vysokorychlostním zařízení, které dovoluje měření v rychlostech od 1 mm/s do 400 mm/s. V našem případě bylo použito rychlosti posuvu testovaného materiálu 1 mm/s a 10 mm/s. Tyto rychlosti byly zvoleny pro experimentální měření tak, aby se co možná nejvíce projevíly odchylky v oblasti sil potřebných na protažení vzorku pro umožnění nejpresnějšího porovnání obou metodik.

#### 3.4.6. TEPLOTA NÁSTROJE

Čelisti byly temperančním zařízením předeřhřaty na teplotu  $40 \pm 2^\circ\text{C}$ . Tato teplota odpovídá teplotě nástrojů v běžné praxi, kdy při tažení dochází k zahřívání vlivem tření.

#### 3.4.7. KONTAKTNÍ TLAK

Kontaktní tlak byl pro zvolené rychlosti (1 mm/s, 10 mm/s) volen tak, aby byl celý vzorek protažen bez problému (zadírání či přetržení pásku). Tlaky byly voleny na základě hodnot tlaků používaných při tažení karosářských výlisků v praxi. Minimální tlak byl použit 2MPa a maximální 5MPa pro diskrétní regulaci pak hodnoty 2; 3; 4; 5MPa a pro regulaci spojitého tlaku rovnoměrně od 0 – 5MPa.

#### 3.4.8. VARIANTA TRIBOLOGICKÉ ZKOUŠKY

Na porovnání jednotlivých metodik regulací tlaku byla použita varianta tribologické zkoušky 1B, neboť právě tato varianta modeluje podmínky tažení v oblasti mezi přidržovačem a tažnicí popsané v kapitole 2.2.1.6.1..

### 3.5. PŘÍPRAVA VZORKŮ

Příprava vzorků byla prováděna dle metodiky prováděné na TU v Liberci a dle kritérií Škoda Auto, a.s. Mladá Boleslav. Tato metodika zohledňuje podmínky při tváření části karoserie automobilu v běžné praxi.

#### 3.5.1. NASTŘÍHÁNÍ PLECHŮ NA VZORKY

Vzorky ve formě pásků plechu byly nastříhány na tabulových nůžkách z tabulí plechu na požadované rozměry vzorků. Pro tribologickou zkoušku za působení diskrétního tlaku byly vzorky nastříhány na délku:  $550 \pm 1$  mm a na šířku:  $44 \pm 0,2$  mm. Vzorky na tribologickou zkoušku za působení spojitého tlaku byly nastříhány na délku:  $850 \pm 1$  mm a šířku:  $44 \pm 0,2$  mm. Rozdíl v délce nastříhaných vzorků byl s ohledem na měřenou vzdálenost pro jednotlivé typy tlaků, zejména pro spojitý tlak, kde nárůst tlaků by měl být pozvolný, aby bylo možné lépe odečíst jednotlivé naměřené hodnoty nutné k porovnání obou metodik.

#### 3.5.2. OZNAČENÍ VZORKŮ

Na vzorky byly napsány značky označující druh použitého materiálu. Dále byly na vzorcích pro zkoušku zhotoveny rysky ve vzdálenosti 10 mm od okraje vzorku pro dodržení strany z důvodů eliminace rozdílu drsnosti ve výsledném měření, neboť drsnost jednotlivých stran je rozdílná z důvodu pohledových dílů pro následné lakování.

#### 3.5.3. ODMAŠTĚNÍ PLECHŮ

K ošetření plechu při skladování svitků a tabulí v hutích se používají konzervační maziva, bylo tedy nutné nejprve očištění a odmaštění vzorků. Vzorky byly očištěny od nečistot bavlněnou tkaninou a následně nadvakrát odmaštěny pomocí acetonu. Po odmaštění následovalo srovnání vzorků do skupin dle jednotlivých podmínek zkoušek.

#### 3.5.4. NANESENÍ POŽADOVANÉ VRSTVY MAZIVA

K nanášení maziva po obou stranách bylo použito měkké textilie napuštěné v daném mazivu. Pro experimentální měření bylo mazivo *ANTICORIT PL 3802–39LV*, nanášeno v množství  $1,5 \pm 0,2$  g/m<sup>2</sup>. K zajištění



takovéto hodnoty se používalo níže popsané zařízení na měření množství maziva. Ke kontrole bylo na každém vzorku o délce  $550 \pm 1$  mm změřeno množství maziva na třech náhodně zvolených místech a na vzorku o délce  $850 \pm 1$  mm změřeno množství maziva na šesti náhodně zvolených místech. Po nanesení mazadla a následné kontrole byly vzorky vkládány do upínacího přípravku tak, aby orientační značení na straně vzorku směřovalo vždy jen jedním směrem.

#### 6.5.4.1. ZAŘÍZENÍ NA MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ MAZIVA

Jedná se o ruční přenosné zařízení, vyobrazené na obr.3.8., k jednoduchému zjišťování tloušťky vrstvy oleje na kovovém povrchu. Zařízení se skládá z pevného hliníkového obalu, potaženého pryží, který obsahuje detektor, osvětlovací systém, filtrové kolo, referenční mechaniku, baterie a elektroniku. Zařízení je založeno na infračervené - filtrovací technice a je vyvinuto speciálně pro použití v průmyslovém prostředí. Konstrukce měřícího aparátu umožňuje infračerveným paprskem snímat povrch plechu o rozměrech  $10 \times 10$  mm a zaznamenávat množství maziva naneseného na kontrolované ploše. Z jednotlivých měření je pak vypočtena průměrná hodnota měřené vrstvy maziva, která se zobrazí na LCD displeji, jak je znázorněno na obr.3.9..



Obr. 3.9.:Detail měřícího zařízení



Obr. 3.8.: Měřící aparát od firmy Fuchs-Europe Schmierstoffe GmbH

Kalibrace je přednastavená na několik druhů kovového povlaku např. na námi testované substráty plechů s povlaky žárově zinkovanými (HDG), elektrolyticky zinkovanými (EG). Zařízení je schopno měřit vrstvy maziv v rozsahu hodnot 0,2 až 6 g/m<sup>2</sup>.

### 3.6. VLASTNÍ MĚŘENÍ

Na zkušební stroj SOKOL 400 byly nainstalovány, do přípravku čelisti na měření tribologických podmínek, které před tím byly ošetřeny testovacím mazadlem. Dále byl zapnut temperanční agregát, který zajišťoval tepelné podmínky pro měření. Měření bylo provedeno pro jeden typ mazadla, které bylo nanášeno v množství  $1,5 \pm 0,2$  g/m<sup>2</sup>. Testování probíhalo na dvou substrátech tedy EG a HDG při rychlostech protahování (1 a 10 mm/s). Kontaktní tlak mezi čelistmi byl nastaven nejprve pro diskrétní nárůst tlaku v hodnotách 2; 3; 4; 5 MPa, poté následovala měření pro spojitý nárůst v rozmezí 0–5 MPa.

Aby nedocházelo k ovlivnění výsledků měření bylo nutné po určitém počtu měření čelisti vyjmout z přípravku poté je odmastit, vyleštit a nakonec opět přemazat (totožným mazivem). Toto opatření bylo nutné, protože plechy byly opatřeny Zn povlakem, jehož nepříznivým vlivem je zadírání. Leštění čelistí nastalo vždy po sérii 10 měření nebo pokud se výsledky začaly vzdalovat od hodnot série, tyto zkoušky byly z experimentu vyřazeny.

Po vložení vzorku do přípravku byl pomocí hydraulického zařízení nastaven kontaktní tlak mezi čelistmi. Následovalo spuštění stroje a protahování zkušebního pásu daného hlubokotažného plechu. Detail přípravku s protahovaným páskem je vidět na obr. 3.10.

Průběh tažné síly byl zaznamenán pomocí programu LabTest v.3. Výsledkem měření jsou průběhy tažných sil v závislosti na délce posuvu pásu, rychlosti a tlaku.

Koeficient tření  $\mu$  je vypočítán dle vztahu (18). Naměřené hodnoty a výsledky měření jsou vypracovány v přehledných tabulkách, kde jsou uvedeny střední hodnoty sledovaných charakteristik a směrodatné odchylky.

Pro získání statisticky významného počtu měření a průměrné hodnoty sledované charakteristiky, pro každou jednotlivou kombinaci nastavení vstupních parametrů testu, byl stanoven vždy soubor 10 měřených vzorků.



Obr.3.10.:Detail nástroje s protahovaným páskem

Z důvodu nastavení ustálení hodnot důležitých pro měření, aby se správně ustálily podmínky měření (zaběhly čelisti), proběhlo několik měření, po kterých již následovalo měření série 10 vzorků. Pro diskrétní nárůst tlaku byly vybrány vždy šest měření ze série a pro spojitý nárůst tlaku byly vybrány čtyři měření. Naměřené síly pro výpočet koeficientu tření jsou průměrné hodnoty z měření po ustálení.

Získané experimentální výsledky jsou vyhodnoceny standardními statistickými postupy.

Hodnota aritmetického průměru  $\bar{x}$  byla určena dle vztahu

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (20)$$

kde  $x_i$  je hodnota při jednom měření,  $n$  je počet opakovaných měření.

Dále byla stanovena výběrová směrodatná odchylka (jednoho měření).

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (21)$$

K jednotlivým grafům byly zjištěny spojnice trendu dány rovnicí regrese (22). K rovnicím regrese byla vypočtena odpovídající hodnota spolehlivosti  $R^2$ .

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (22)$$

Kde  $a, b, c$  jsou regresní koeficienty.

### 3.7. NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

Tabulka 3.: Substrát EG,  $v = 1 \text{ mm/s}$ , diskrétní nárůst tlaku

Rychlost posuvu: 1 mm/s					EG
Testovací mazivo: Anticorit 380239-LV Množství maziva: 1,5 g/m <sup>2</sup>					
Kontaktní tlak $p \text{ [MPa]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [N]}$	Maximální síla $F_h \text{ [N]}$ ustálená	Střední síla $F_s \text{ [N]}$ ustálená	Maximální síla $\Delta F \text{ [N]}$	Koeficient tření $\mu \text{ [-]}$
Diskrétní	s [N]	s [N]	s [N]	s [N]	s [-]
2	3012 38,71	3012 38,71	2231 39,89	1563 58,09	0,179 0,003
3	6210 152,6	6210 152,6	3612 63,74	5196 182,27	0,193 0,003
4	7302 177,04	7302 177,04	4485 100,93	5633 152,66	0,180 0,004
5	8773 91,9	8773 91,9	5418 48,22	6711 108,98	0,174 0,002

Tabulka 4.: Substrát EG,  $v = 1 \text{ mm/s}$ , spojitý nárůst tlaku

Rychlost posuvu: 1 mm/s					EG
Testovací mazivo: Anticorit 380239-LV Množství maziva: 1,5 g/m <sup>2</sup>					
Kontaktní tlak $p \text{ [MPa]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [N]}$	Maximální síla $F_h \text{ [N]}$ ustálená	Střední síla $F_s \text{ [N]}$ ustálená	Maximální síla $\Delta F \text{ [N]}$	Koeficient tření $\mu \text{ [-]}$
Spojitý	s [N]	s [N]	s [N]	s [N]	s [-]
0 - 5*	6998 142,17	6998 142,17	3773 110,58	6451 63,18	0,121 0,002
2	2694 101,59	2694 101,59	2165 30,02	1057 143,15	0,173 0,002
3	4309 136,47	4309 136,47	2975 35,03	2669 202,89	0,159 0,001
4	6097 278,83	6074 246,02	3668 89,85	4813 312,34	0,148 0,003
5	6998 142,17	6998 142,17	4016 45,29	5964 193,75	0,139 0,001



*Tabulka 5.:Substrát EG,  $v = 10 \text{ mm/s}$ , diskrétní nárůst tlaku*

Rychlost posuvu: 10 mm/s					EG
Testovací mazivo: <b>Anticorit 380239-LV</b> Množství maziva: <b>1,5 g/m<sup>2</sup></b>					
Kontaktní tlak $p \text{ [MPa]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [N]}$	Maximální síla $F_h \text{ [N]}$ ustálená	Střední síla $F_s \text{ [N]}$ ustálená	Maximální síla $\Delta F \text{ [N]}$	Koeficient tření $\mu \text{ [-]}$
Diskrétní	s [N]	s [N]	s [N]	s [N]	s [-]
<b>2</b>	1567 42,21	1567 42,21	1405 35,02	323 42,9	0,113 0,003
<b>3</b>	2380 45,68	2380 45,68	2115 34,28	532 39,46	0,113 0,002
<b>4</b>	3118 23,23	3080 82,39	2678 72,33	804 48,26	0,107 0,003
<b>5</b>	3856 123,81	3670 125,67	3277 100,14	786 82,83	0,105 0,003

*Tabulka 6.:Substrát EG,  $v = 10 \text{ mm/s}$ , spojitý nárůst tlaku*

Rychlost posuvu: 10mm/s					EG
Testovací mazivo: <b>Anticorit 380239-LV</b> Množství maziva: <b>1,5 g/m<sup>2</sup></b>					
Kontaktní tlak $p \text{ [MPa]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [N]}$	Maximální síla $F_h \text{ [N]}$ ustálená	Střední síla $F_s \text{ [N]}$ ustálená	Maximální síla $\Delta F \text{ [N]}$	Koeficient tření $\mu \text{ [-]}$
Spojitý	s [N]	s [N]	s [N]	s [N]	s [-]
<b>0 - 5*</b>	3790 98,29	3790 98,29	1990 52,14	3600 107,7	0,064 0,002
<b>2</b>	1526 41,13	1526 41,13	1371 27,55	309 33,52	0,110 0,002
<b>3</b>	2104 30,3	2104 30,3	1947 20,01	313 54,21	0,104 0,001
<b>4</b>	2802 172,71	2802 172,71	2357 115,89	889 158,93	0,094 0,005
<b>5</b>	3790 98,29	3790 98,29	2896 58,39	1790 85,7	0,093 0,002

*Tabulka 7.: Substrát HDG,  $v = 1 \text{ mm/s}$ , diskrétní nárůst tlaku*

Rychlost posuvu: 1 mm/s					HDG
Testovací mazivo: <b>Anticorit 380239-LV</b> Množství maziva: <b>1,5 g/m<sup>2</sup></b>					
Kontaktní tlak $p \text{ [MPa]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [N]}$	Maximální síla $F_h \text{ [N]}$ ustálená	Střední síla $F_s \text{ [N]}$ ustálená	Maximální síla $\Delta F \text{ [N]}$	Koeficient tření $\mu \text{ [-]}$
Diskrétní	s [N]	s [N]	s [N]	s [N]	s [-]
<b>2</b>	1565 56,04	1565 56,04	1389 48,79	353 28,53	0,111 0,004
<b>3</b>	2345 46,44	2345 46,44	2124 26,19	441 102,77	0,113 0,001
<b>4</b>	3309 30,52	3309 30,52	2789 19,3	1041 38,48	0,112 0,001
<b>5</b>	4281 144,77	4186 101,6	3457 59,38	1458 118,51	0,111 0,002

*Tabulka 8.: Substrát HDG,  $v = 1 \text{ mm/s}$ , spojitý nárůst tlaku*

Rychlost posuvu: 1 mm/s					HDG
Testovací mazivo: <b>Anticorit 380239-LV</b> Množství maziva: <b>1,5 g/m<sup>2</sup></b>					
Kontaktní tlak $p \text{ [MPa]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [N]}$	Maximální síla $F_h \text{ [N]}$ ustálená	Střední síla $F_s \text{ [N]}$ ustálená	Maximální síla $\Delta F \text{ [N]}$	Koeficient tření $\mu \text{ [-]}$
Spojitý	s [N]	s [N]	s [N]	s [N]	s [-]
<b>0 - 5*</b>	4028 182,6	4028 182,6	2171 92,53	3715 181,27	0,070 0,003
<b>2</b>	1392 13,8	1391 12,16	1281 15,58	219 16,56	0,103 0,001
<b>3</b>	2177 71,86	2174 71,32	2069 66,5	211 31,35	0,111 0,004
<b>4</b>	3138 72,77	3053 72,82	2759 231,37	587 374,68	0,111 0,009
<b>5</b>	4028 182,6	3778 163,07	3175 321,67	1207 713,54	0,102 0,010

*Tabulka 9.:Substrát HDG,  $v = 10 \text{ mm/s}$ , diskrétní nárůst tlaku*

Rychlost posuvu 10 mm/s					HDG
Testovací mazivo: <b>Anticorit 380239-LV</b> Množství maziva: <b>1,5 g/m<sup>2</sup></b>					
Kontaktní tlak $p \text{ [MPa]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [N]}$	Maximální síla $F_h \text{ [N]}$ ustálená	Střední síla $F_s \text{ [N]}$ ustálená	Maximální síla $\Delta F \text{ [N]}$	Koeficient tření $\mu \text{ [-]}$
Diskrétní	s [N]	s [N]	s [N]	s [N]	s [-]
<b>2</b>	1300 10,91	1300 10,91	1157 16,41	287 32,07	0,093 0,001
<b>3</b>	1878 11,74	1874 16,65	1662 16,31	424 25,19	0,090 0,001
<b>4</b>	2724 112,46	2520 30,62	2278 29,18	483 48,48	0,090 0,001
<b>5</b>	3855 141,5	3304 159,18	2923 155,4	762 40,06	0,088 0,005

*Tabulka 10.:Substrát HDG,  $v = 10 \text{ mm/s}$ , spojitý nárůst tlaku*

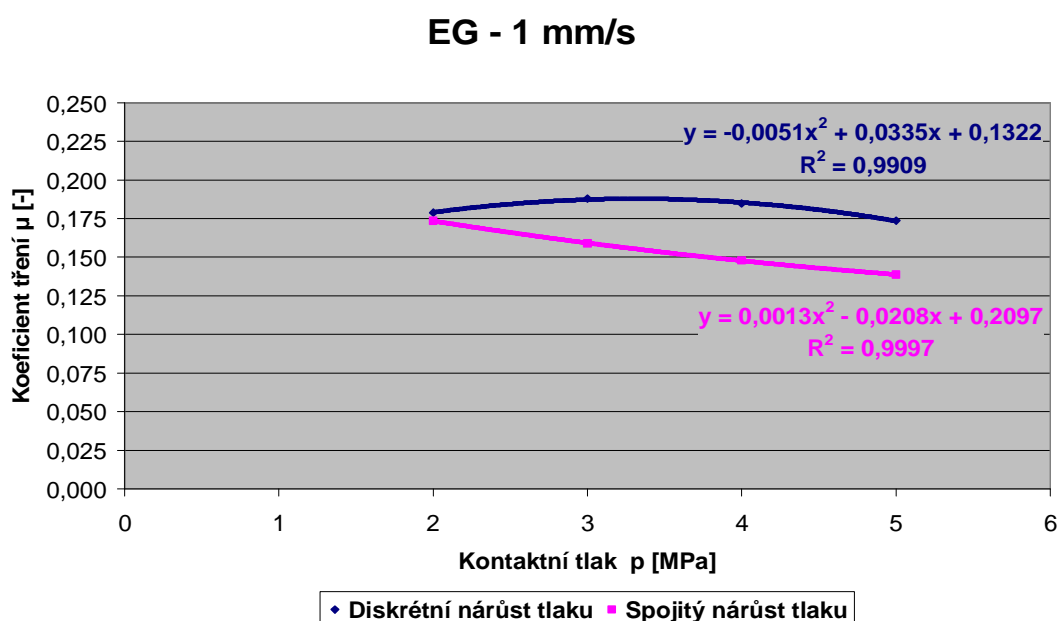
Rychlost posuvu: 10mm/s					HDG
Testovací mazivo: <b>Anticorit 380239-LV</b> Množství maziva: <b>1,5 g/m<sup>2</sup></b>					
Kontaktní tlak $p \text{ [MPa]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [N]}$	Maximální síla $F_h \text{ [N]}$ ustálená	Střední síla $F_s \text{ [N]}$ ustálená	Maximální síla $\Delta F \text{ [N]}$	Koeficient tření $\mu \text{ [-]}$
Spojitý	s [N]	s [N]	s [N]	s [N]	s [-]
<b>0 - 5*</b>	2939 99,15	2939 99,15	1552 48,22	2775 107,55	0,050 0,002
<b>2</b>	1325 40,17	1325 40,17	1188 29,82	273 30,38	0,095 0,002
<b>3</b>	1915 45,49	1915 45,49	1776 40,7	278 19	0,095 0,002
<b>4</b>	2478 96,96	2478 96,96	2337 113,84	283 50,1	0,094 0,005
<b>5</b>	2939 99,15	2936 104,25	2757 189,9	357 212,71	0,094 0,006

*\* jedná se o střední hodnotu měřených veličin u spojitého nárůstu tlaku od hodnoty 0MPa až do hodnoty 5MPa*

### 3.8. ROZBOR KOEFICIENTU TŘENÍ

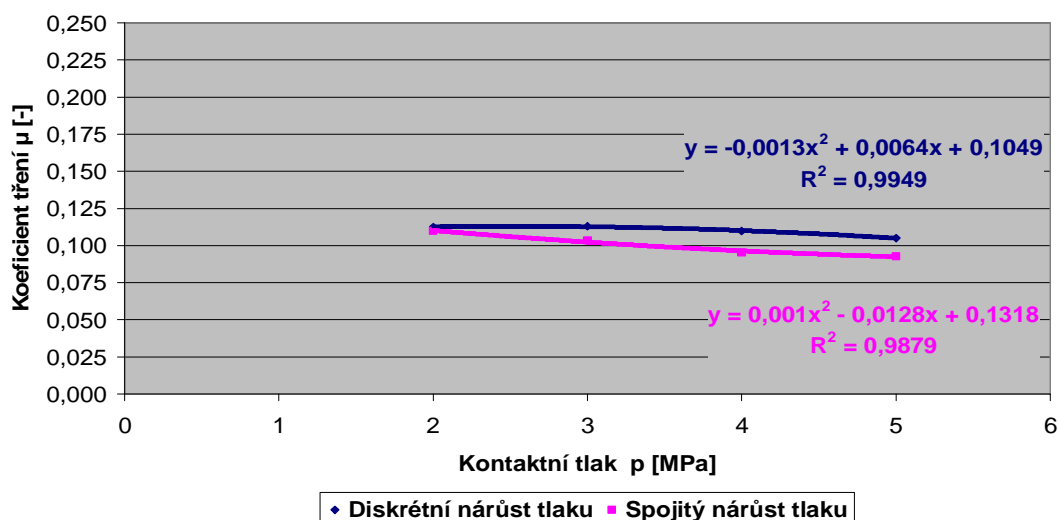
Z naměřených hodnot uvedených v tabulkách byly sestrojeny grafy. Grafy koeficientu tření jsou sestrojeny v závislosti na kontaktním diskretním a spojitým nárůstu tlaku při konstantní rychlosti posuvu.

- Substrát EG; HDG
- Mazivo ANTICORIT PL 3802–39LV -  $1,5 \pm 0,2 \text{ g/m}^2$
- Rychlosti 1; 10 mm/s
- Kontaktní tlak diskretní nárůst tlaku; spojitý nárůst tlaku



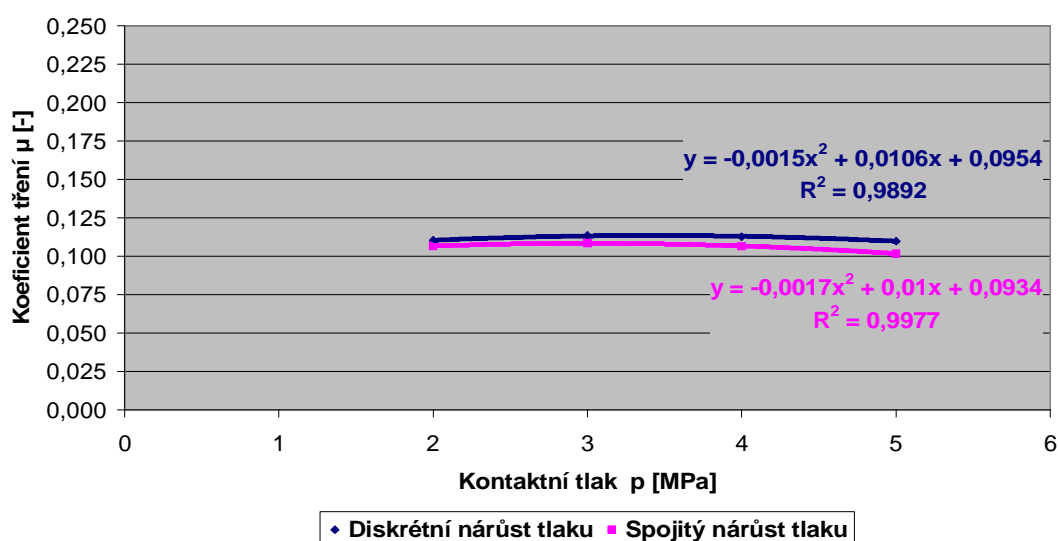
Graf 1.: Substrát EG, rychlost posuvu  $v = 1 \text{ mm/s}$ ,

Dle výsledků měření vynesných v grafu 1. je patrný závěr, že obě dvě křivky koeficientu tření mají klesající tendenci v oblasti vyšších tlaků (4; 5MPa). Diskretní nárůst tlaku nejprve pro malé tlaky koeficient tření pozvolně roste až do hodnoty cca 3,5MPa a po překročení této hodnoty začíná klesat. U spojitého nárůstu kontaktního tlaku je situace jiná. Koeficient tření se zvyšujícím kontaktním tlakem klesá. Porovnání jednotlivých metodik obou křivek tlaku za podmínek rychlosti 1 mm/s je patrné, že při počáteční hodnotě tlaku je rozdíl 3% a v konečné hodnotě je rozdíl už 25%.

**EG - 10 mm/s**

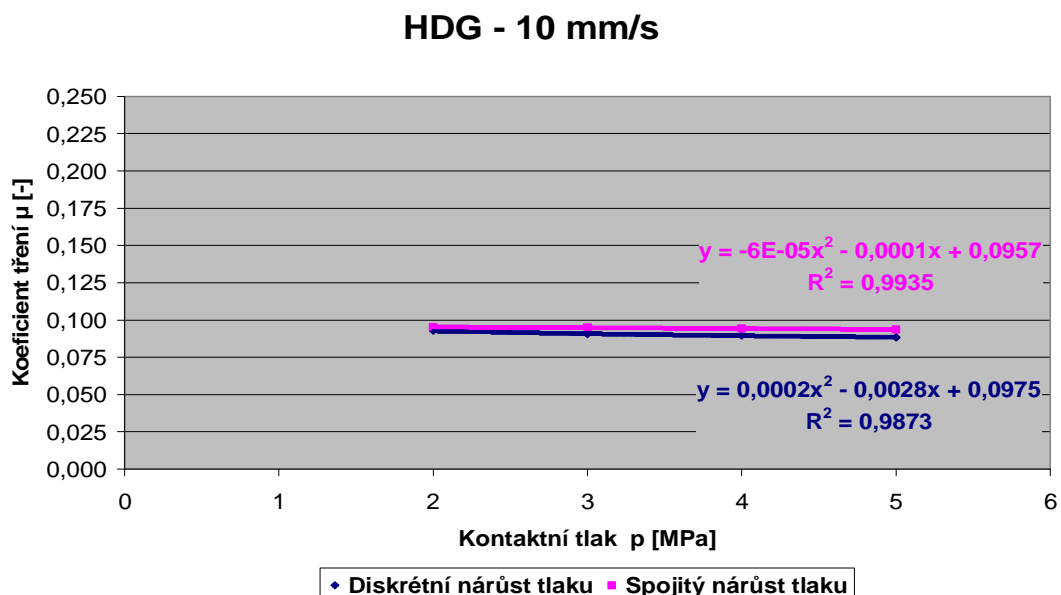
Graf 2.: Substrát EG, rychlost posuvu  $v = 10$  mm/s,

Graf 2. ukazuje u stejného substrátu, při diskrétním nárůstu tlaku, při rychlosti posuvu protahovaného vzorku 10 mm/s, že koeficient tření nejprve roste se zvyšujícím se tlakem asi do hodnoty 3MPa. Na této hodnotě tlaku velikost koeficientu tření začíná stagnovat respektive nastává pokles velikosti koeficientu tření. Varianta zkoušky se spojitým nárůstem tlaku má již od počátku klesající tendenci. Při rychlosti 10 mm/s posuvu zkoušeného pásku plechu již nejsou tak výrazné rozdíly mezi jednotlivými metodikami. Rozdíl u tlaku čelistí 2MPa je cca 2% při tlaku 5MPa je rozdíl okolo 13%.

**HDG - 1 mm/s**

Graf 3.: Substrát HDG, rychlost posuvu  $v = 1$  mm/s,

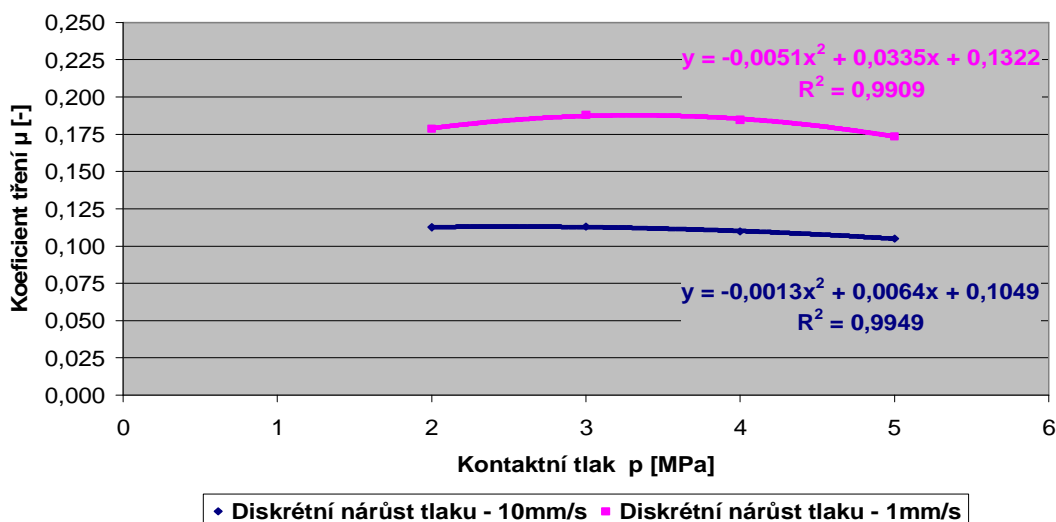
Při rozboru grafu 3. u substrátu HDG a rychlosti posuvu 1 mm/s je patrné, že koeficient tření při obou metodikách měření má klesající tendenci v oblasti vyšších tlaků (4; 5MPa). Zpočátku u zkoušky za působení diskrétního tlaku koeficient tření nepatrně stoupá a po překročení hranice 3,5MPa začíná nepatrně klesat. U druhé varianty s působením spojitého nárůstu tlaku je také stoupající koeficient tření a po překročení 3MPa také začíná klesat. Procentuální rozdíl je při 2MPa 3% při hodnotě tlaku 5MPa je rozdíl 8%.



Graf 4.: Substrát HDG, rychlost posuvu  $v = 10$  mm/s,

Ve znázorněném grafu 4. pro substrát HDG, při rychlosti posuvu 10 mm/s je charakteristika naměřených hodnot metodiky za působení diskrétního i spojitého nárůstu tlaku od počátku pozvolna klesající. Rozdíl koeficientu tření se pohybuje v rozmezí 3% - 6% v hodnotách kontaktního tlaku od 2MPa do 5MPa.

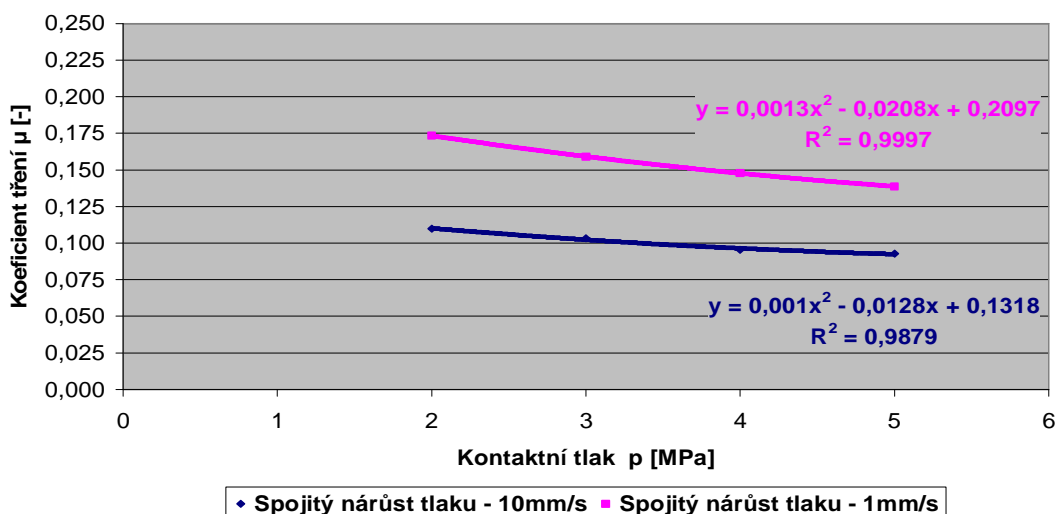
### EG - diskretní nárůst tlaku - 1;10 mm/s



Graf 5.: Substrát EG, diskretní nárůst tlaku,

Graf 5. ukazuje u EG substrátu, že při použití metodiky regulace diskretního nárůstu tlaku je klesající chování koeficientu tření při rychlosti 10 mm/s obdobné jako u rychlosti 1 mm/s. Koeficient tření při zvyšující se rychlosti posuvu výrazně klesá. Průměrná hodnota rozdílů koeficientu tření mezi rychlostí posuvu 1 mm/s a 10 mm/s z jednotlivých měření je 64%.

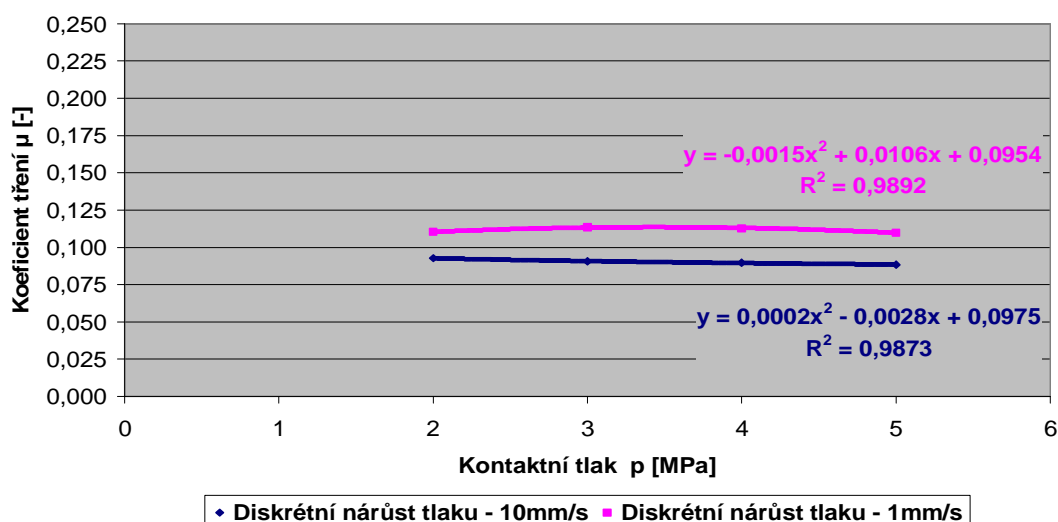
### EG - spojitý nárůst tlaku - 1;10 mm/s



Graf 6.: Substrát EG, spojitý nárůst tlaku,

I spojitý nárůst tlaku u substrátu EG znázornění na grafu 6. se zvyšující se rychlosti výrazně klesá. Obdobné chování je křivky koeficientu tření jak při rychlosti 1 mm/s tak i při rychlosti 10 mm/s. Průměrná hodnota rozdílů koeficientu tření mezi rychlostí posuvu 1 mm/s a 10 mm/s z jednotlivých měření je 54%.

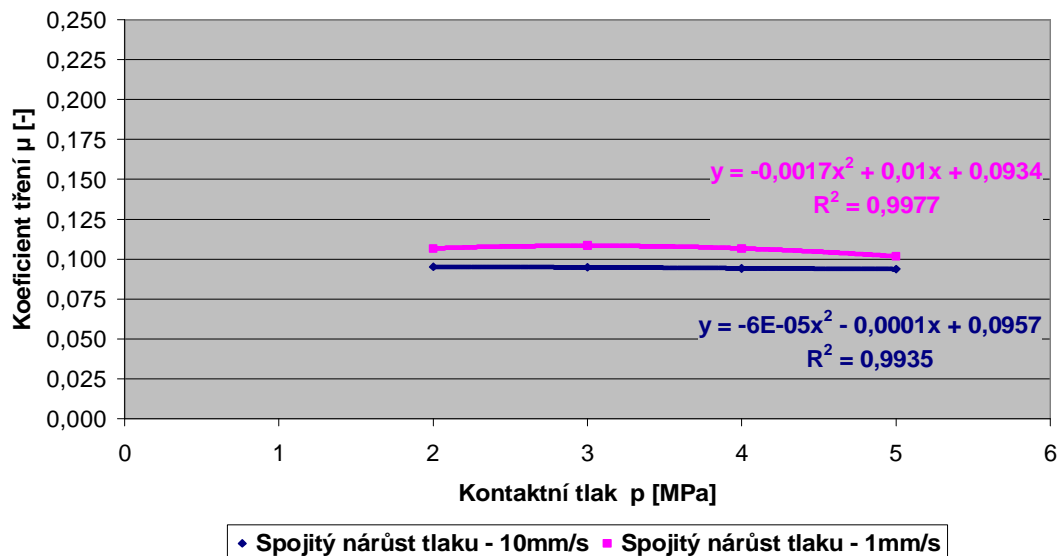
### HDG - diskretní nárůst tlaku - 1;10 mm/s



Graf 7.: Substrát HDG, diskretní nárůst tlaku,

Koeficient tření vyneseny v grafu 7. za působení diskretního nárůstu tlaku při rychlosti posuvu 1 mm/s a 10 mm/s má klesající tendenci při vyšších tlacích (4; 5 MPa). Substrát HDG potvrzuje, že se zvyšující rychlostí klesá koeficient tření. U tohoto substrátu průměrná hodnota rozdílů z jednotlivých měření pro rychlosti posuvu 1 mm/s a 10 mm/s je 23%.



**HDG - spojitý nárůst tlaku - 1;10 mm/s***Graf 8.: Substrát HDG, spojitý nárůst tlaku,*

U HDG plechu a spojitého nárůstu tlaku je rozdíl poklesu koeficientu tření při stoupající rychlosti nejmenší, neboť po celou oblast měření je průměrná hodnota naměřených hodnot 12%.

## 4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Výsledky naměřených hodnot a vypočteného koeficientu tření byly posuzovány s ohledem na typ použitého substrátu při testování.

### Substrát EG

Při porovnání chování koeficientu tření substrátu elektrolyticky pozinkovaného - EG pro rychlosti posuvu 1 a 10 mm/s, je možné vyvozovat, že koeficient tření při diskrétním i spojitým nárůstu tlaku klesá se stoupající hodnotou rychlosti. Maximální hodnota koeficientu tření s diskrétní regulací tlaku při rychlosti 1 mm/s z 0,193 klesá na 0,113 při rychlosti 10 mm/s, dále se spojitou regulací tlaku při rychlosti 1 mm/s z 0,173 klesá na 0,110 při rychlosti 10 mm/s. Dále z grafů vyplývá, že se stoupající rychlostí posuvu pásku zkoušeného substrátu se zmenšuje procentuální rozdíl mezi variantou zkoušky diskrétního nárůstu tlaku a spojitého nárůstu tlaku. Při použití substrátu EG jsou výsledky mezi metodami zkoušek, protahování mezi přidržovačem a tažnicí, tudíž mezi variantou za působení diskrétního a spojitého nárůstu tlaku, s rozdíly od 2% – 25% v rozmezí tlaků 2MPa – 5MPa.

### Substrát HDG

Srovnáním dosažených výsledků zanesených do grafů u substrátu žárově pozinkovaného - HDG je potvrzena skutečnost, že se zvyšující se rychlostí posuvu materiálu mezi čelistmi klesá hodnota koeficientu tření. Maximální hodnota koeficientu tření s diskrétní regulací tlaku u substrátu HDG při rychlosti posuvu 1 mm/s z 0,113 klesá na 0,093 při rychlosti 10 mm/s, u spojitě regulace tlaku při rychlosti 1 mm/s z 0,111 klesá na 0,095 při rychlosti 10 mm/s. Při použití substrátu HDG jsou rozdíly výsledků mezi metodami zkoušek, protahování mezi přidržovačem a tažnicí, tudíž mezi variantou působení diskrétního a spojitého nárůstu tlaku, v rozmezí od 2% – 10% při hodnotách tlaků od 2MPa do 5MPa. HDG substrát se jeví proti EG substrátu z výsledků experimentálního zkoumání stabilnější, neboť má menší rozptyl hodnot koeficientu tření.

Provedené hodnocení pro jednotlivé substráty je shrnuto v tabulce 11., kde jsou zaneseny procentuální rozdíly koeficientu tření mezi diskretním a spojitým nárůstem tlaku v závislosti na rychlosti posuvu.

*Tabulka 11.: Rozdíl koeficientu tření mezi diskretní a spojitou regulací tlaku*

Rychlost posuvu v [mm/s]	EG		HDG	
	Kontaktní tlak 2 MPa	Kontaktní tlak 5 MPa	Kontaktní tlak 2 MPa	Kontaktní tlak 5 MPa
1	3%	25%	3%	8%
10	2%	13%	3%	6%

Poměrně zajímavé je srovnání vycházející z vypočtených hodnot v tab. 11 u substrátu EG, kde je při rychlosti posuvu 10 mm/s a kontaktním tlaku 2MPa maximální rozdíl mezi regulací tlaku diskretní a spojitou vykazuje nejmenší odchylku z celého spektra měření v experimentální části a to 2% a v zápětí totožný substrát, ale při rychlosti posuvu 1 mm/s a tlaku 5MPa vykazuje mezi diskretní a spojitou regulací tlaku rozdíl 25%. Při malé rychlosti se projeví negativní vlivy zasahující do procesu tažení (např. mikrosvary, zadírání).

Naproti tomu substrát HDG vykázal stabilnější výsledky rozdílu mezi spojitou a diskretní regulací tlaku při různých velikostech rychlosti posuvu.

## 5. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo provést porovnání dvou metodik regulací tlaku pomocí laboratorních testů modelujících proces tažení a zhodnotit tak jejich diferenci s ohledem na jednotlivé metodiky měření a možnosti vzájemné kontinuity v dalším tribologickém výzkumu, který probíhá na katedře strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci.

Vstupní parametry experimentu pro hodnocení regulace diskrétního a spojitého tlaku byly zadány s ohledem na technologické podmínky tažení (rychlost, tlak, teplota, substrát, mazivo a jeho množství).

Diplomová práce byla řešena ve spolupráci se Škoda Auto, a.s. a experimentální měření probíhala na katedře strojírenské technologie, kde byly provedeny laboratorní testy na speciálním zařízení pro hodnocení tribologických vlastností. Principem tribologické zkoušky bylo modelování tření mezi přídržovačem a tažnicí (viz kap. 2.2.1.6.1.), které tak umožňovalo řešit problematiku regulace tlaku pod přídržovačem. K vyhodnocení výsledků sloužily registrační záznamy sil nutných k protažení pásku zkušebními čelistmi a následně vypočtený koeficient tření, jenž byl stanoven kritériem hodnocení porovnání obou metodik.

Experimentální měření vycházela z podmínek vyskytujících se v sériové výrobě tažení výlisků pro díly karoserie automobilu. Pro testy byly použity dva typy substrátů hlubokotažných plechů, žárově pozinkované a elektrolyticky pozinkované. K zajištění vhodných tribologických podmínek testování bylo použito mazivo ANTICORIT PL 3802–39LV (viz. kapitola 3.4.4.), jež bylo nanášeno v požadovaném množství na vzorky plechů a následně po nanášení maziva byla provedena kontrola, způsobem uvedeným v kap. 3.5.4.1.. Pro vlastní měření byly použity dvě rychlosti protahování pásku  $v = 1 \text{ mm/s}$  a  $v = 10 \text{ mm/s}$ , kontaktní tlak mezi materiálem čelistí a zkušebním vzorkem byl pro obě metodiky jak diskrétního, tak i spojitého nárůstu tlaku nastaven na hodnoty simulující tažení karosářských výlisků v praxi, v rozmezí od 2MPa do 5MPa.

Výsledkem experimentu bylo posoudit rozdíly hodnot vypočteného koeficientu tření pro jednotlivé metodiky regulací tlaku. Z předchozích

výsledků výzkumu je zřejmé, že koeficient tření ovlivňuje v tribologickém systému soustavy „stroj-nástroj-materiál“ technologické podmínky tvářecích operací a tím i možný výskyt problémů při výrobě. Jedním z možných problémů je vznik zadírání, který má za následek nejen výrobu zmetků, ale současně může docházet i ke zničení nástrojů opotřebením zvláště jejich funkčních částí. Možnost existence těchto negativních vlivů se stává aktuální zvláště s použitím pozinkovaných plechů.

Vzhledem k četnosti parametrů vstupujících do tribologické soustavy tažení tato diplomová práce řešila jen malou část problematiky tribologických dějů v oblasti zpracování tenkých plechů.

Jednotlivé výsledky experimentálního měření zaměřené na porovnání metodik regulace diskrétního a spojitého tlaku jsou hodnoceny v závislosti na použitém substrátu a použitých rychlostí protahování pásku za konkrétních hodnot tlaku.

#### **Porovnání metodik s ohledem na parametr rychlosti (1 mm/s , 10 mm/s)**

**EG plechy** – při nízkých rychlostech a vyšších hodnotách kontaktního tlaku jsou výrazné rozdíly mezi metodikou diskrétního a spojitého nárůstu tlaku. Tyto rozdíly se eliminují při zvýšení rychlostí posuvu, nebo protahování pásku za působení nízkých hodnot kontaktních tlaků.

**HDG plechy** – při rychlosti posuvu 1 mm/s i 10 mm/s je jen nepatrná odchylka metodik měření. Ani zvyšující se kontaktní tlak nemá výraznější vliv na rozdíl koeficientu tření mezi metodikami diskrétního a spojitého nárůstu tlaku.

#### **Porovnání metodik s ohledem na typy substrátu ( EG i HDG)**

**Diskrétní nárůst tlaku** – u substrátu EG i HDG při zvyšující se rychlosti posuvu z hodnoty 1 mm/s na hodnotu 10 mm/s klesá koeficient tření. Elektrolyticky pozinkovaný plech má ovšem proti žárově pozinkovanému plechu výraznější pokles koeficientu tření.

**Spojité nárůst tlaku** – u obou substrátů se zvyšující se hodnotou rychlosti klesá koeficient tření. Zde také EG plech má výraznější pokles koeficientu tření oproti plechu HDG.

Vzhledem k výsledkům experimentálního měření je patrné, že pro výlisky náročné na výrobu, je vhodnější regulace spojitého nárůstu tlaku, tedy rovnoměrné působení tlaku v oblasti přidržovače při kontaktu nástroje s plechem. Nelze však opomenout další důležité vstupní faktory, kdy se projevuje zvláště úloha maziv a vlivem konstrukčního uspořádání nebo případně seřízení nástroje nesmí dojít k porušení či vytlačení mazacího filmu a tím k ohrožení optimálních podmínek tažení.

U jednoduchých výlisků lze předpokládat jednodušší technologický postup tváření zajištěný jednoduchými nástroji a proto postupného rovnoměrného nárůstu tvářecích síly ani nelze dosáhnout, pak se zde uplatňuje skokový nárůst tlaku tedy jeho diskretní charakter, jenž byl řešen v diplomové práci.

Obě varianty regulací tlaků jsou tedy závislé na sledu a členění jednotlivých operací procesu tažení konkrétních tvářených dílů dle jejich náročnosti a konstrukčního uspořádání nástrojů na tažení a též strojního zařízení-lisů.

Vyvození konečného závěru a konstatování, zda jsou obě varianty měření zaměnitelné, zda je v daném případě při zadaných podmínkách měření vhodnější ta či ona varianta nastavení tlaku nebo zda je jedna z variant přesnější, nemůže být jednoznačně vysloveno, neboť v rámci diplomové práce bylo provedeno pouze omezené množství testů.

Pro získání dalších a korektnějších výsledků, které by mohly vytvořit jakousi databanku by bylo vhodné rozšířit vstupní technologické podmínky o další parametry, z mnohých lze vyjmenovat např.:

- Provést testy za **vyšších rychlostí**, laboratorní tribologické zařízení umožňuje zkoušky až za rychlostí 400 mm/s. V rámci experimentu bylo prokázáno, že se vrůstající rychlostí obě metodiky mají lepší výsledky, ale otázkou je, zda bude zlepšování pokračovat či existuje mezní hodnota rychlosti, kdy dojde ke stagnaci nebo případnému zhoršování tribologických podmínek.
- Provést testy za většího rozsahu a tedy i **vyšších tlaků**, zjistit tak případnou diferenci jednotlivých metodik. Otázkou je však do jakých hodnot tlaků lze testování provádět, neboť v rámci experimentu byly použity tlaky v takové hodnotě, aby ještě došlo k úplnému protažení

vzorku bez jeho porušení. V tomto ohledu je také třeba zohlednit též problém testovaného substrátu.

- Provést testy s **jinými substráty**, pro výrobu dílů karosérie se kromě testovaných substrátů EG a HDG používají také substráty s jiným typem ochranného povlaku např. fosfátování (HDG+NIT, EG+S250), tato fosfátová vrstvička zabezpečuje minimalizaci vzniku zadírání při tažení. V současné době se opět vrací i použití klasických ocelových plechů bez povlaku (CRS).
- Provést testy pro **plechy s různou morfologií povrchu**, morfologie povrchu ovlivňuje v nemalé míře výsledek tribologických testů a volbou vhodné morfologie lze ovlivnit průběh síly potřebné k posuvu materiálu, současně s tím i koeficient tření a tribologické podmínky při vlastním procesu tváření. Povrch s vhodnou morfologií by měl být optimální jak pro lisovatelnost, tak i pro kvalitu následného lakování, což je závěrečná operace, která dodává dílu jeho estetické vlastnosti celého povrchu karosérie, zejména pohledových dílů. Nezanedbatelnou úlohu zde hrají i mikrogeometrie povrchu plechu, ta je ovlivněna již zmíněnou morfologií.
- Provést testy pro různé **typy mazadel**, které je možné v rámci technologického procesu použít při konkrétním tváření. Maziva se odlišují nejen pro oblast použití (prací oleje, konzervační, technologická), ale i svými rozdílnými vlastnostmi, které mohou mít na jednotlivé metodiky regulací tlaku též zajisté vliv, jmenovitě např. vliv teploty na změnu vlastností maziv.
- Provést testy za **zvýšených teplot**, kdy dochází k ovlivnění tribologického systému v případě maziv, kdy se mění jejich viskozita s rostoucí teplotou nástroje a funkce nástrojů bude též ovlivňována v souvislosti s jejich zahříváním.

Při sledování procesu tváření plechů, jakožto tribologického systému zjišťujeme velké množství vlivů do tohoto systému vstupujících. Je třeba si uvědomit, že každá z uvedených veličin se podílí na tribologických dějích ve sledované soustavě. Bohužel se však neuplatňují samostatně, ale vzájemně se ovlivňují. Je proto velmi obtížné výše uvedené parametry hodnotit





odděleně a proto se často při vyhodnocování tribologických podmínek posuzují komplexně výsledky zkoušek pro soustavu nástroj-mazadlo-materiál-technologické podmínky.

## 6. SEZNAM LITERATURY

- [1] ŠKODA AUTO, a.s.: [www.skoda-auto.cz](http://www.skoda-auto.cz), Mladá Boleslav 4/2007
- [2] SPRINGER MÉDIA CZ, s.r.o.: Automobil revue, Praha 5/2007
- [3] TMĚJ, J. – MIKEŠ, V.: Teorie tváření, skripta TU, Liberec 1981
- [4] SOLFRONK, P.: Vliv morfologie povrchu plechů na zadírání karosářských plechů při tažení, Disertační práce, TU Liberec 2001
- [5] KOLNEROVÁ, M.: Vliv technologických podmínek na vznik zadírání pozinkovaných plechů při tažení, Disertační práce, TU Liberec 2005
- [6] TIŠNOVSKÝ, M. - MÁDLE, L.: Hluboké tažení plechu na lisech, SNTL Praha 1990
- [7] SPIŠÁK, E.: Matematické modelovanie a simulácia technologických procesov – ťahanie, Košice 2000
- [8] ŠTĚPINA, V. - VESELÝ, V.: Maziva v tribologii. VEDA Bratislava, 1985
- [9] BLAŠKOVÍČ, P. - BALLA, J. - DZIMKO, M.: Tribológia. Alfa Bratislava 1990
- [10] SOBOTKA, J.: Zhodnocení použití pevných a polotuhých mazadel v sériové výrobě při lisování výlisků karosářského typu, Diplomová práce, TU Liberec, 2004
- [11] DOUBRAVSKÝ, M.: Technologie I., VSŠT Brno, 1982
- [12] TU V LIBERCÍ: Úvod do tváření II., výukový text, Liberec
- [13] JIŘOVSKÝ, D.: Řízení brzdění plechu v oblasti silově ovládaného přidržovače při tažení výlisků karosářského typu, Diplomová práce, TU Liberec, 1999
- [14] BOLJANOVIC, V.: Sheet metal forming processes and die design, New York, 2004
- [15] VOBORNÍK, P.: Řízení brzdění plechu v oblasti přidržovače při tažení výlisků karosářského typu, Diplomová práce, TU Liberec, 1999



## **7. SEZNAM PŘÍLOH**

**Příloha 1:** Materiálový list maziva *Anticorit PL 3802-39 LV*

**Příloha 2:** Protokoly zkoušek

## Příloha 1

str.1/1



Obchodní název: **ANTICORIT PL 3802 - 39 LV**

### 1 Fyzikální a chemické vlastnosti

• <b>Skupenství:</b> tekutina				
• <b>Barva:</b> hnědá				
• <b>Zápach:</b> charakteristický				
•				
• <b>Změna stavu</b>	Hodnota/rozsah	Jednotka	Metoda	
• <b>Bod tuhnutí / tání / rozsah teploty tání:</b>	není stanoveno			
• <b>Bod varu / rozsah teplot varu:</b>	neužívá se			
• <b>Bod vzplanutí:</b>	150	°C	ISO 2592	
• <b>Teplota rozkladu:</b>	není stanoveno			
• <b>Samovznítitelnost:</b>	není samovznítitelný			
• <b>Nebezpečí výbuchu:</b>	není výbušný			
• <b>Hustota:</b> při 15 °C	890	kg/m <sup>3</sup>	DIN 51 757	
• <b>Rozpuštnost v / mísitelnost s</b>				
• voda:	není, případně málo mísitelný			
• <b>Viskozita nebo třída konzistence:</b>				
• kinematická: při 40 °C	15	mm <sup>2</sup> /s	DIN 51 562	

### 2 Stabilita a reaktivita

- **Tepelný rozklad / nutno zabránit podmínkám:** Při odborné manipulaci k rozkladu nedochází.
- **Nebezpečné reakce:** Žádné nebezpečné reakce nejsou známy.
- **Nebezpečné produkty rozkladu:** Nejsou známy žádné nebezpečné produkty rozkladu.

### 3 Toxikologické údaje

- **Akutní toxicita:**
- **Primární dráždivé účinky:**
- **pokožka:** Dráždivé účinky nejsou známy.
- **oči:** Dráždivé účinky nejsou známy.
- **senzibilizace:** Žádné senzibilizující účinky nejsou známy.
- **Dodatečné toxikologické pokyny:**  
Dle poslední verze výpočtové metody Všeobecné směrnice ES pro zařazování produktů nevyplývá povinnost tento produkt označovat.  
Při odborném zacházení a dodržení stanoveného způsobu použití tento produkt dle našich zkušeností a dostupných informací nemá škodlivé účinky na zdraví.

### 4 Ekologické údaje

- **Chování v životním prostředí:**
- **Mobilita a bioakumulativní potenciál:** Žádné dostupné údaje k dispozici.
- **Ekotoxické účinky:**
- **Chování v čistících zařízeních:** Produkt vyplave na hladinu vody / odpadní vody.
- **Všeobecné pokyny:**  
2. třída látek ohrožujících vodu (zařazení dle konceptu VCI): ohrožuje vodu.  
Zabránit vniknutí do spodních vod, vodních toků nebo kanalizace.

### 5 Pokyny pro likvidaci

- **Produkt:**
- **Doporučení:**  
I malá množství musejí být likvidována dle příslušných předpisů.  
Musí být likvidováno v souladu s předpisy o odpadech jako použitý olej nebo znovu zpracováno.  
Dodržet nařízení o odpadních a zbytkových látkách. Při skladování použitých produktů dodržovat zákaz míchání. Podkladem pro likvidaci je zákon o odpadech a jejich recyklaci.

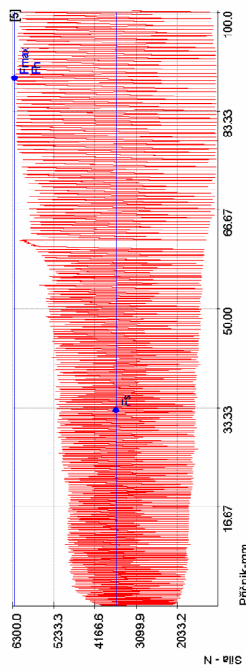
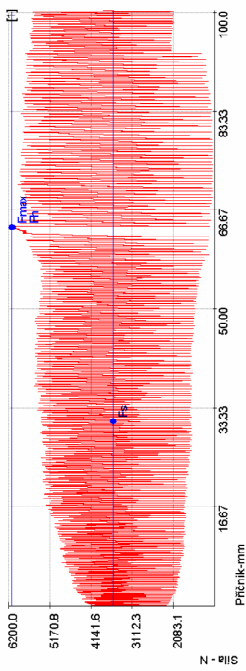
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo:	Anticorit380239-LV	Kontaktní plocha:	78 mm x 40 mm
Množství maziva:	1,5g/m2	Rychlost posuvu:	1 mm/s
Testovaný substrát:	EG	Varianta:	IB
Drsnost povrchu:	Ra=1,23/1,31 μm PC=66/921/cm	Teplota:	40°C
Materiál nástroje:	GGG70L	Rychlost snímání dat:	2kHz
Kontaktní tlak:	3MPa	Měřená délka:	100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub>	F <sub>s</sub>	F <sub>i</sub>	F <sub>N</sub>	ΔE <sub>rel</sub>
1	6118	3598	1054	6118	5084
2	6384	3651	1017	6384	5268
3	6347	3678	1012	6347	5336
4	5944	3600	1057	5944	4687
5	6532	3686	977	6532	5286
6	6315	3645	974	6315	5341
x	6210	3612	1013	6210	5196
s	152,60	63,74	38,05	152,60	182,27



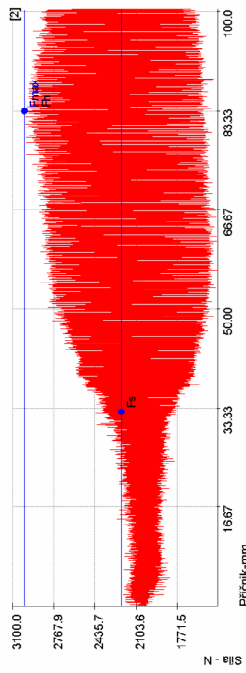
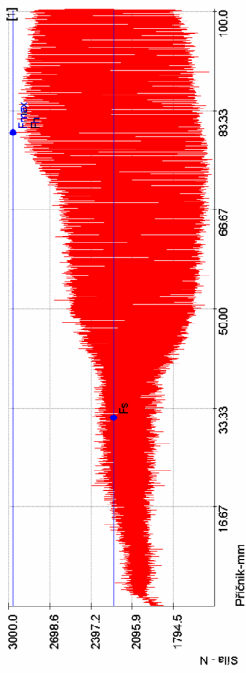
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo:	Anticorit380239-LV	Kontaktní plocha:	78 mm x 40 mm
Množství maziva:	1,5g/m2	Rychlost posuvu:	1 mm/s
Testovaný substrát:	EG	Varianta:	IB
Drsnost povrchu:	Ra=1,23/1,31 μm PC=66/921/cm	Teplota:	40°C
Materiál nástroje:	GGG70L	Rychlost snímání dat:	2kHz
Kontaktní tlak:	2MPa	Měřená délka:	100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub>	F <sub>s</sub>	F <sub>i</sub>	F <sub>N</sub>	ΔE <sub>rel</sub>
1	2688	2230	1483	2688	1475
2	3005	2222	1436	3005	1526
3	3070	2277	1486	3070	1536
4	3028	2267	1510	3028	1515
5	3032	2220	1486	3032	1623
6	2972	2145	1386	2972	1614
x	3012	2231	1446	3012	1553
s	36,71	33,86	58,07	36,71	59,09



Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

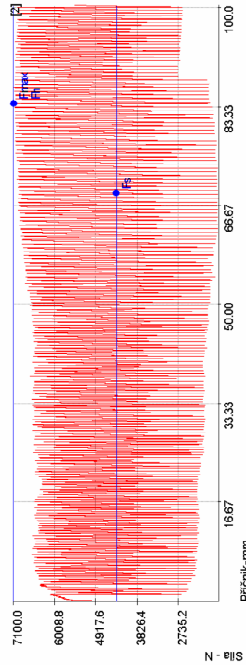
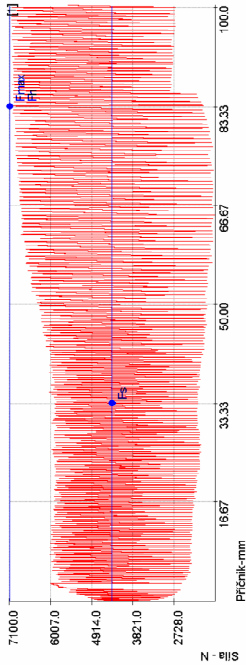
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticor1380239-LV    Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2    Rychlost posuvu: 1mm/s  
Testovaný substrát: EG    Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31µm PC=96/92/1cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 4MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	F <sub>h</sub> N	deliaF N
1	7065	4360	1635	7065	5430
2	7095	4370	1644	7095	5432
3	7293	4477	1690	7293	5533
4	7369	4540	1691	7369	5598
5	7470	4565	1686	7470	5771
6	7478	4580	1682	7478	5797
x	7302	4465	1686	7302	5533
s	177,04	100,35	26,12	177,04	52,66



Technická univerzita v Liberci  
Katedra strojírenské technologie

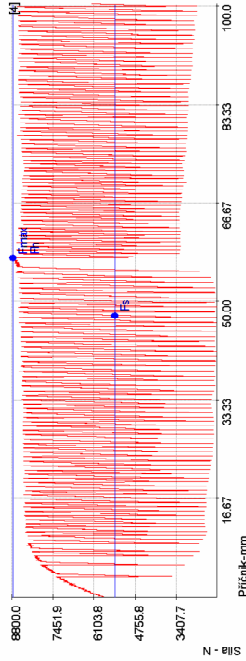
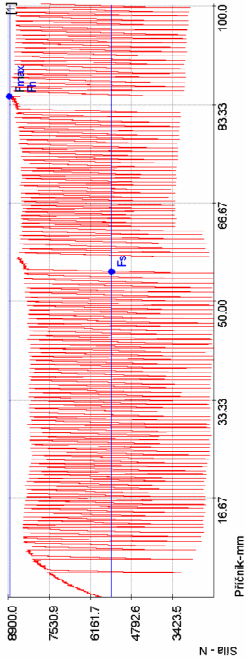
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticor1380239-LV    Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2    Rychlost posuvu: 1mm/s  
Testovaný substrát: EG    Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31µm PC=96/92/1cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 5MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	F <sub>h</sub> N	deliaF N
1	8947	5451	2054	8947	6793
2	8787	5388	1998	8787	6799
3	8854	5354	2053	8854	6801
4	8772	5416	2000	8772	6713
5	8865	5491	2008	8865	6805
6	8886	5437	2129	8886	6657
x	8775	5418	2002	8775	6711
s	91,90	48,22	43,30	91,90	108,98



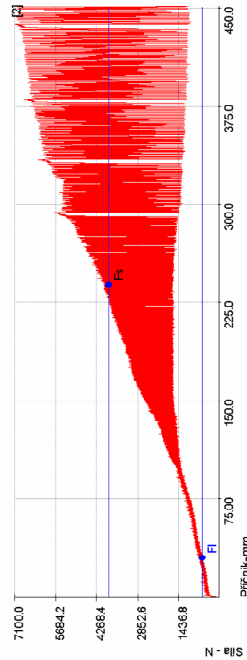
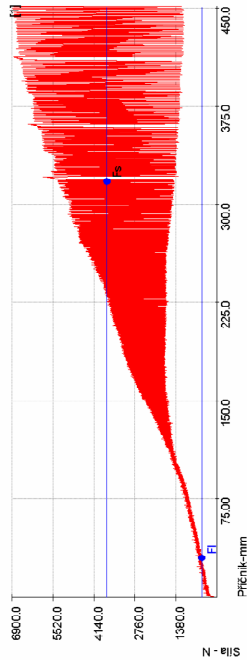
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticori380239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m<sup>2</sup>      Rychlost posuvu: 1 mm/s  
Testovaný substrát: EG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31 μm PC=86/92,1/cm      Teplota: 40 °C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2 kHz  
Kontaktní tlak: konti tlak 0 - 5 MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	F <sub>h</sub> N	délka F N
1	6888	3695	482	6888	6408
2	7009	3951	803	7009	6495
3	6885	3753	516	6885	6484
4	6858	3784	579	6858	6402
x	6888	3773	547	6888	6451
s	142,17	110,86	76,99	142,1	63,16



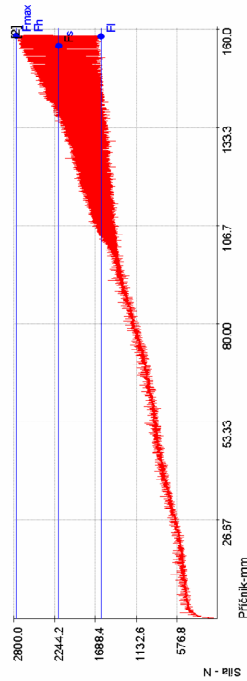
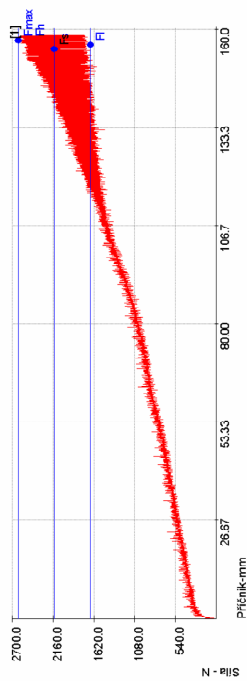
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticori380239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m<sup>2</sup>      Rychlost posuvu: 1 mm/s  
Testovaný substrát: EG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31 μm PC=86/92,1/cm      Teplota: 40 °C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2 kHz  
Kontaktní tlak: konti tlak 2 MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	F <sub>h</sub> N	délka F N
1	2622	2144	1886	2622	666
2	2788	2188	1807	2788	1159
3	2636	2199	1873	2636	1022
4	2670	2184	1885	2670	1018
x	2694	2185	1858	2694	1037
s	107,59	30,02	47,56	107,59	143,15





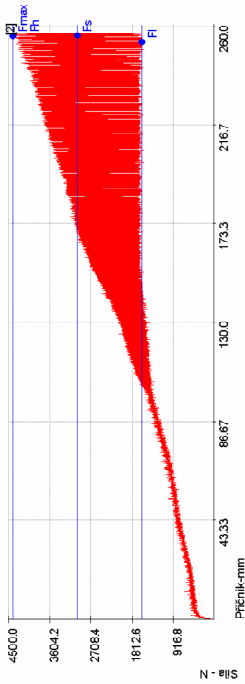
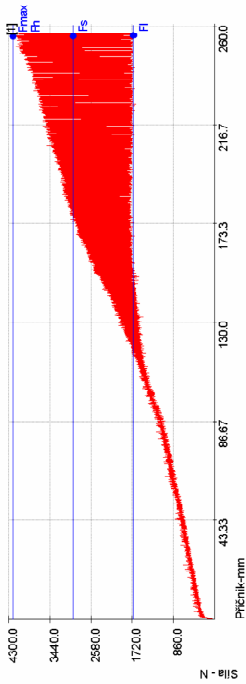
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticori380239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2      Rychlost posuvu: 1mm/s  
Testovaný substrát: EG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31 μm PC=86/921/cm      Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 3MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fi N	Fh N	delta F N
1	4213	2950	1897	4213	2526
2	4408	3000	1953	4408	2912
3	4371	2953	1634	4371	2636
4	4383	2952	1601	4383	2683
x	4308	2975	1640	4308	2686
s	136,47	35,03	66,42	136,47	202,88



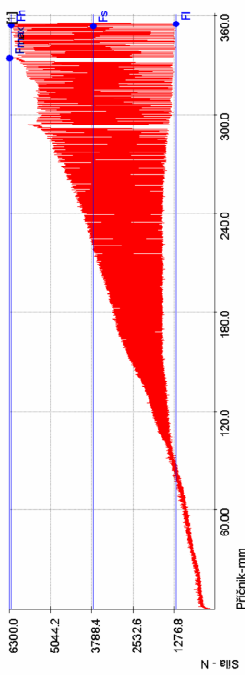
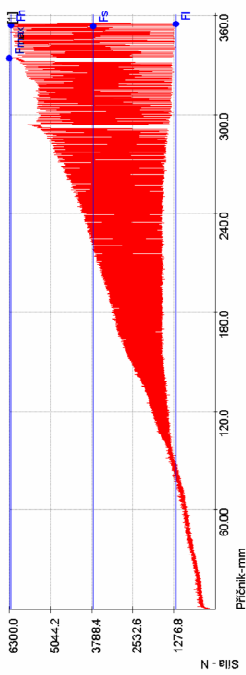
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticori380239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2      Rychlost posuvu: 1mm/s  
Testovaný substrát: EG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31 μm PC=86/921/cm      Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 4MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fi N	Fh N	delta F N
1	6294	3721	1215	6294	5079
2	5900	3604	1308	5900	4592
3	6104	3617	1253	6104	4851
4	6179	3712	1266	6179	4913
x	6097	3688	1261	6097	4813
s	278,83	69,65	66,32	278,83	312,34



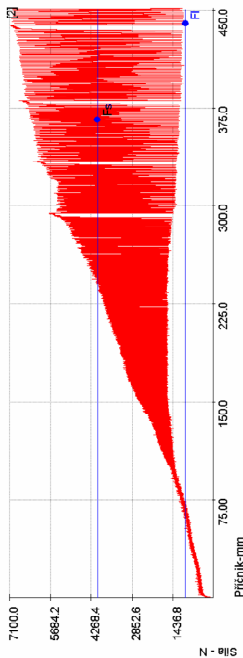
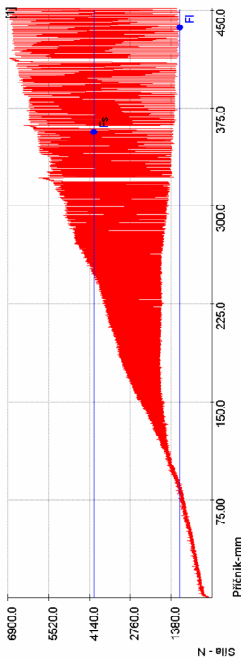
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticort380239-LV    Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2    Rychlost posuvu: 1mm/s  
Testovaný substrát: EG    Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31 μm PC=86/921/cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: kontitlak 5MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	R <sub>h</sub> N	cellaF N
1	6998	3994	1071	9698	5927
2	6954	3975	1017	9654	5906
3	6901	3943	1079	9601	5928
4	7069	4048	988	7069	6101
x	6988	4016	1034	9888	5994
s	142,17	45,29	51,98	142,17	153,75



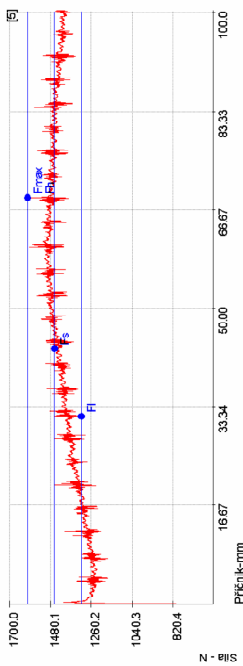
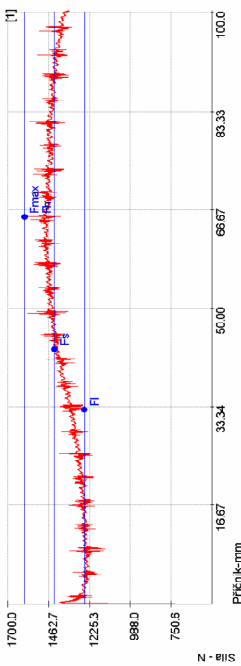
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticort380239-LV    Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2    Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: EG    Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31 μm PC=86/921/cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 2MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	R <sub>h</sub> N	cellaF N
1	1603	1429	1236	1603	343
2	1598	1391	1223	1598	334
3	1488	1359	1229	1488	259
4	1574	1384	1194	1574	381
5	1603	1468	1312	1603	391
6	1574	1411	1247	1574	327
x	1567	1405	1283	1567	323
s	42,21	35,02	39,98	42,21	42,90



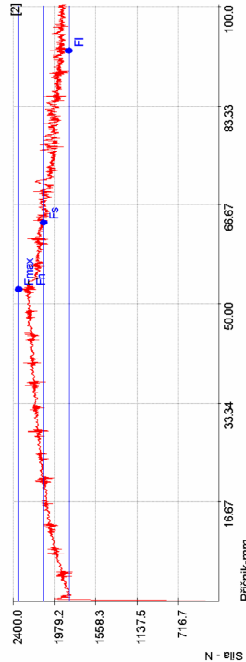
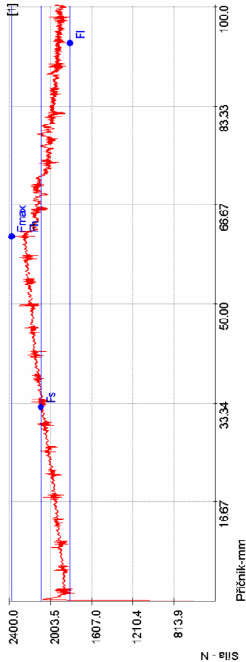
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticort380239-LV    Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2    Rychlost posuvu: 10 mm/s  
Testovaný substrát: EG    Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31 μm PC=86/921/1cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 3MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub>	N	F <sub>s</sub>	Fl	Rh	delta F
	N	N	N	N	N	N
1	2377	2065	1814	2377	563	
2	2348	2060	1832	2348	516	
3	2320	2065	1820	2320	500	
4	2468	2177	1897	2468	560	
5	2388	2121	1854	2388	534	
6	2353	2119	1886	2353	467	
x	2390	2115	1846	2390	522	
s	45,68	34,28	32,29	45,88	39,43	

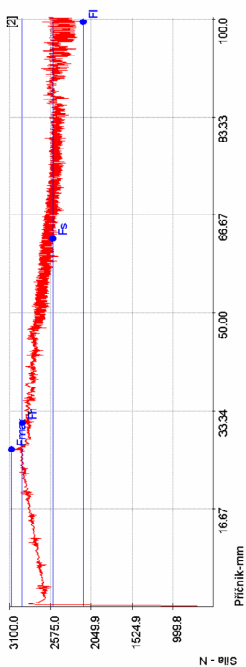
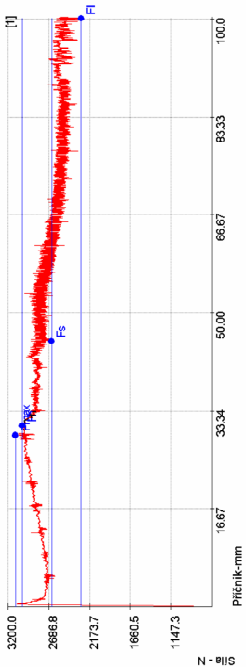


Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticort380239-LV    Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2    Rychlost posuvu: 10 mm/s  
Testovaný substrát: EG    Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31 μm PC=86/921/1cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 4MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub>	N	F <sub>s</sub>	Fl	Rh	delta F
	N	N	N	N	N	N
1	3103	2851	2380	3103	741	
2	3077	2546	2153	2858	765	
3	3129	2891	2257	3125	869	
4	3125	2717	2309	3125	816	
5	3130	2746	2361	3130	769	
6	3141	2717	2294	3141	846	
x	3118	2678	2276	3080	804	
s	23,23	72,33	69,56	82,36	43,28	



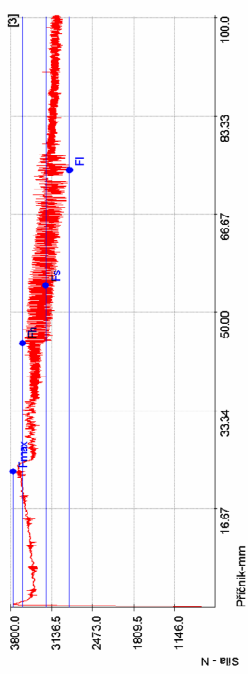
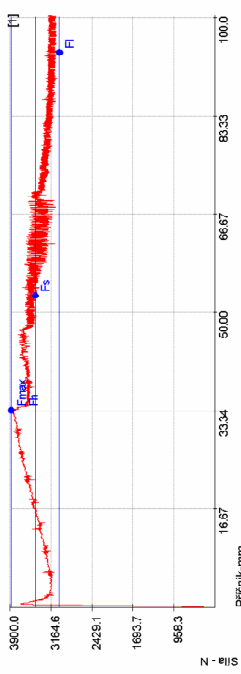
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticort380239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2      Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: EG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31 μm PC=86/921/cm      Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 5MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkuška	F <sub>max</sub>	F <sub>s</sub>	N	ΔF	ΔF	N	ΔF
1	3875	3444	3013	3675	881		
2	4073	3284	2626	3741	915		
3	3788	3203	2649	3611	782		
4	3750	3229	2674	3665	711		
5	3805	3322	2561	3683	722		
6	3770	3162	2778	3255	746		
x	3866	3277	2684	3670	786		
s	123,81	100,14	67,71	135,67	62,83		



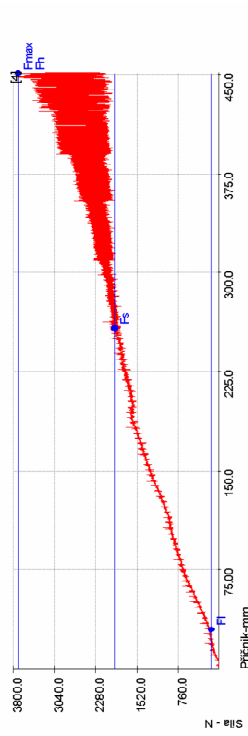
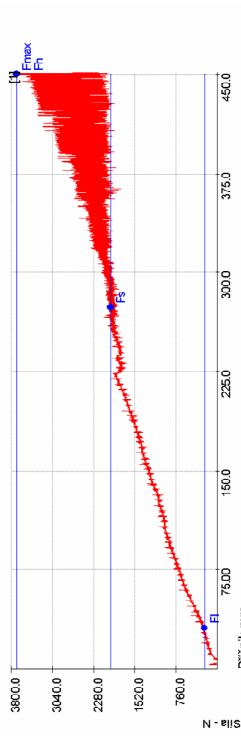
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticort380239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2      Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: EG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31 μm PC=86/921/cm      Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 0-5 MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkuška	F <sub>max</sub>	F <sub>s</sub>	N	ΔF	ΔF	N	ΔF
1	3704	1985	228	3704	3476		
2	3834	2025	216	3834	3817		
3	3808	2041	173	3808	3786		
4	3714	1928	142	3714	3572		
x	3790	1980	190	3790	3900		
s	98,29	62,14	36,72	98,29	107,70		



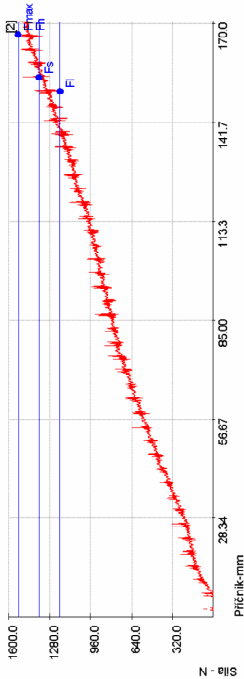
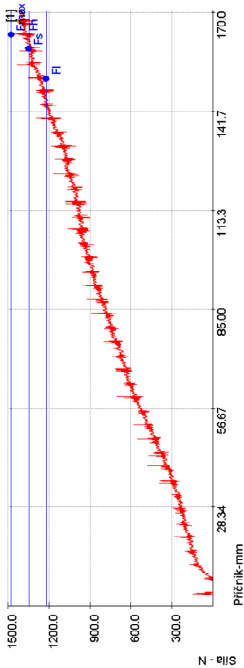
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticor1380239-LV    Kontaktní plocha: 73 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2    Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: EG    Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31µm PC=96/9211cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: kont.tlak 2MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	R <sub>h</sub> N	cellaF N
1	1479	1348	1219	1476	280
2	1525	1363	1200	1526	325
3	1579	1411	1244	1576	335
4	1520	1362	1205	1520	315
x	1526	1371	1217	1526	308
s	41,13	27,55	16,70	41,13	33,52



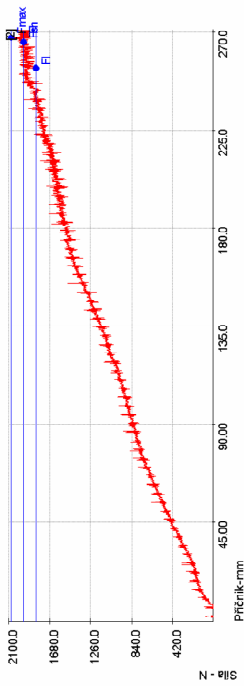
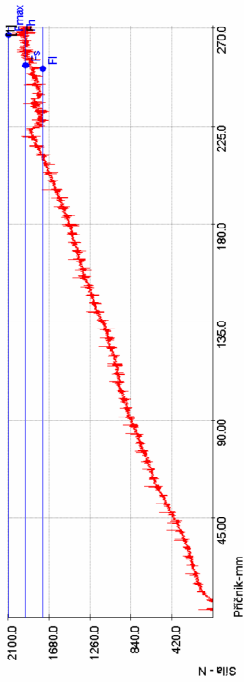
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticor1380239-LV    Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2    Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: EG    Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31µm PC=86/9211cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: kont.tlak 3MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	R <sub>h</sub> N	cellaF N
1	2065	1919	1743	2065	352
2	2075	1948	1822	2076	254
3	2089	1968	1816	2086	281
4	2147	1964	1781	2147	366
x	2104	1947	1791	2104	313
s	30,30	20,01	36,76	30,30	54,21



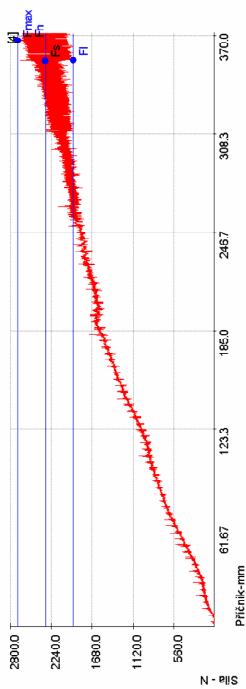
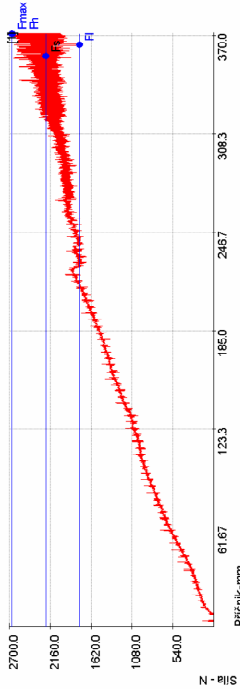
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticorit380239-LV    Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2    Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: EG    Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31 μm PC=86/621/cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: konti tlak 4 MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkuška	Fmax N	Fs N	FI N	Fh N	dellaF N
1	2684	2216	1773	2684	881
2	2791	2397	2005	2791	786
3	3048	2491	1935	3048	1113
4	2703	2330	1938	2703	765
x	2802	2357	1912	2802	881
s	172,71	115,88	98,39	172,71	159,93



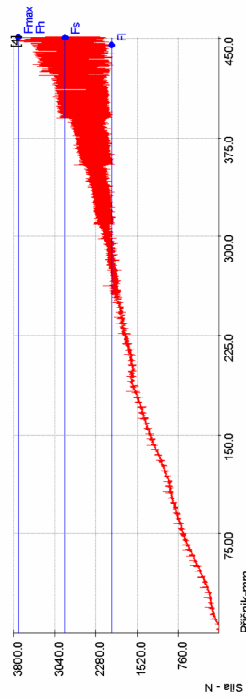
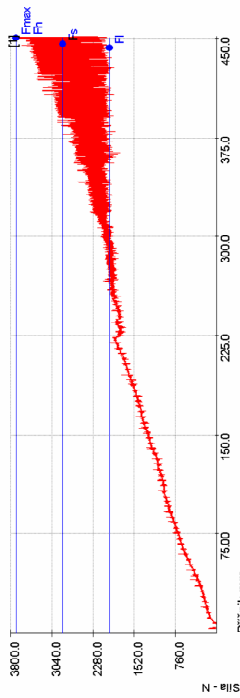
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticorit380239-LV    Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2    Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: EG    Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,23/1,31 μm PC=86/621/cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: konti tlak 5 MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkuška	Fmax N	Fs N	FI N	Fh N	dellaF N
1	3704	2842	1979	3704	1725
2	3834	2938	2042	3834	1792
3	3808	2853	1888	3808	1910
4	3714	2949	1863	3714	1732
x	3790	2885	2001	3790	1790
s	98,29	58,39	26,80	98,29	35,70



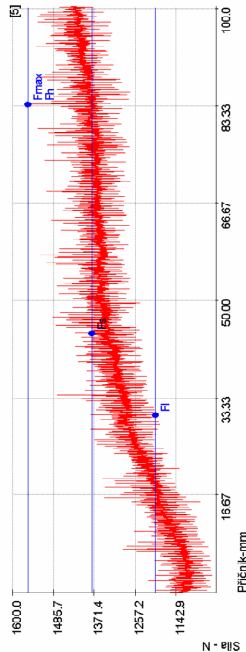
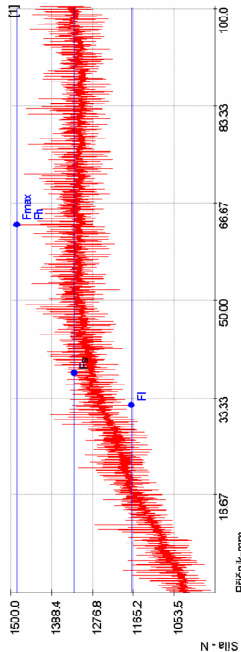
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticort380239-LV    Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m<sup>2</sup>    Rychlost posuvu: 1mm/s  
Testovaný substrát: HDG    Varianta: 1B  
Drasnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/831cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 2MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	F <sub>h</sub> N	d <sub>relaF</sub> N
1	484	1327	1170	1484	313
2	610	1415	1221	1610	390
3	638	1468	1298	1638	340
4	626	1357	1188	1526	337
5	657	1378	1186	1557	368
6	678	1388	1198	1578	380
x	655	1389	1212	1566	363
s	56,04	46,79	45,04	59,04	28,53



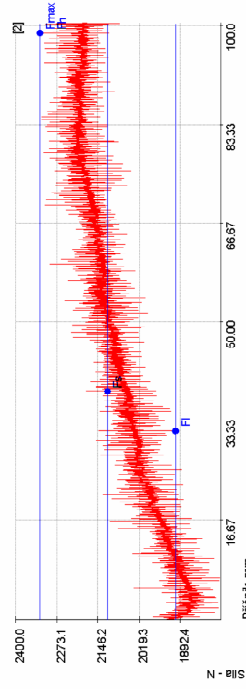
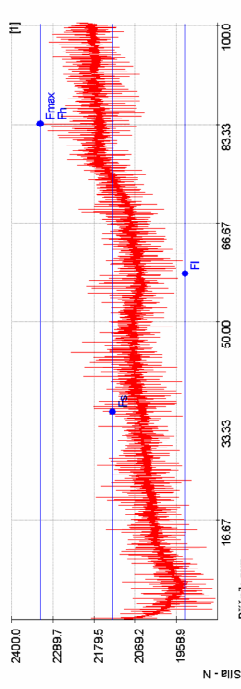
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticort380239-LV    Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m<sup>2</sup>    Rychlost posuvu: 1mm/s  
Testovaný substrát: HDG    Varianta: 1B  
Drasnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/831cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 3MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	F <sub>h</sub> N	d <sub>relaF</sub> N
1	2324	2129	1935	2324	389
2	2325	2115	1905	2325	419
3	2378	2122	1884	2378	515
4	2412	2106	1789	2412	613
5	2349	2173	1997	2349	352
6	2278	2100	1821	2278	358
x	2345	2124	1904	2345	441
s	46,44	35,19	67,05	46,44	102,77





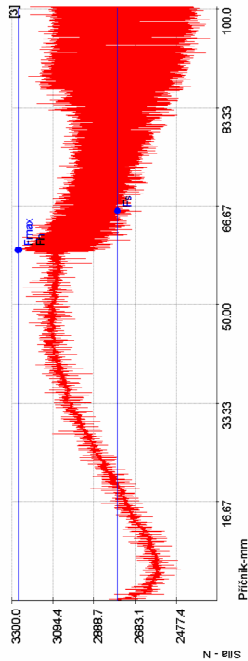
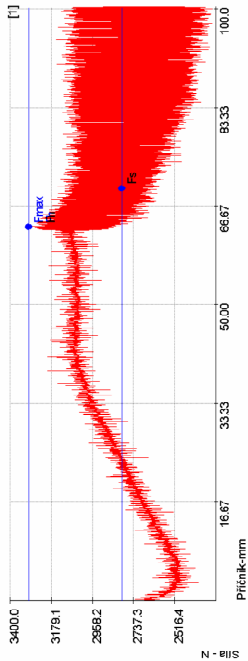
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticor1380239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2      Rychlost posuvu: 1mm/s  
Testovaný substrát: HDG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/831/cm      Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 4MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	R <sub>h</sub> N	del <sub>EF</sub> N
1	3302	2738	2336	3302	1003
2	3355	2925	2255	3355	1100
3	3288	2770	2272	3288	886
4	3288	2732	2236	3288	1051
5	3320	2738	2257	3320	1053
6	3324	2510	2235	3324	1030
x	3308	2738	2238	3308	1041
s	30,52	19,30	23,54	30,52	38,48



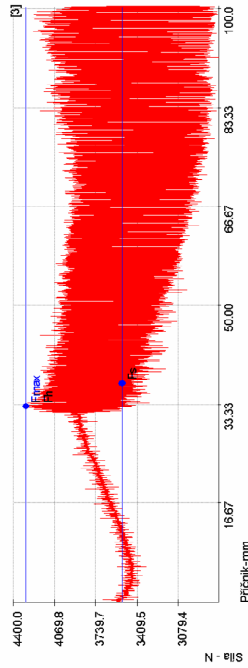
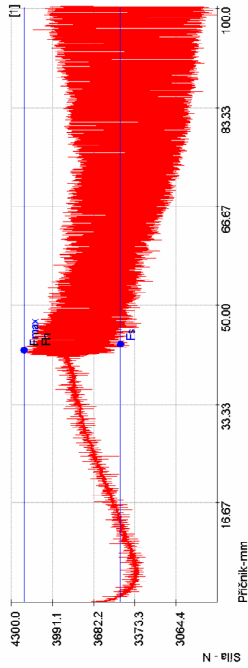
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticor1380239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2      Rychlost posuvu: 1mm/s  
Testovaný substrát: HDG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/831/cm      Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 5MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	R <sub>h</sub> N	del <sub>EF</sub> N
1	4205	3460	2755	4205	1449
2	4562	3354	2706	3986	1291
3	4300	3525	2746	4300	1551
4	4241	3430	2624	4226	1611
5	4203	3465	2722	4206	1438
6	4170	3469	2806	4170	1382
x	4281	3457	2726	4188	1438
s	144.77	59.38	61.25	101.60	118.51



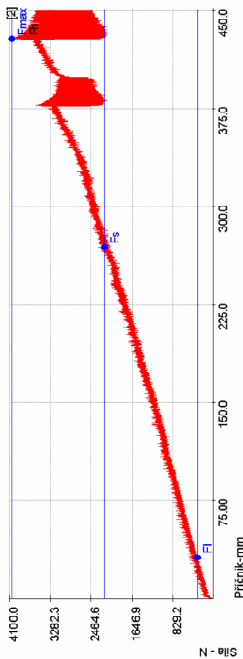
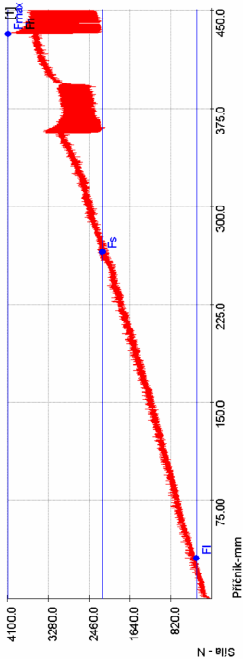
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticori380239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2      Rychlost posuvu: 1mm/s  
Testovaný substrát: HDG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/631/cm      Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: konti tlak 0 - 5 MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fl N	Rh N	deltaF N
1	4088	2192	297	4088	3792
2	4064	2130	311	4064	3753
3	4200	2258	316	4200	3884
4	3771	2040	368	3771	3402
x	4028	2171	313	4028	3715
s	182,69	92,53	14,55	182,69	161,27



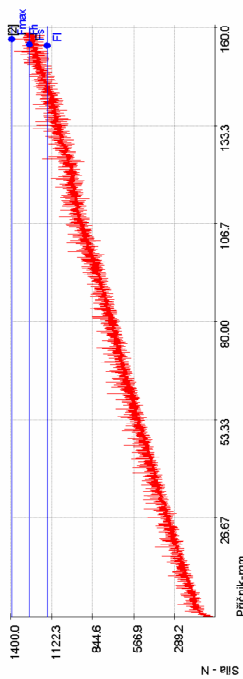
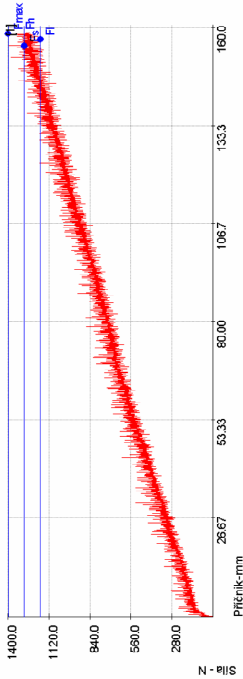
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticori380239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2      Rychlost posuvu: 1mm/s  
Testovaný substrát: HDG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/631/cm      Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: konti tlak 2MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fl N	Rh N	deltaF N
1	1393	1298	1176	1393	219
2	1393	1273	1152	1393	241
3	1466	1298	1186	1398	300
4	1373	1294	1152	1373	218
x	1392	1281	1171	1391	219
s	13,80	15,58	21,79	12,16	16,56



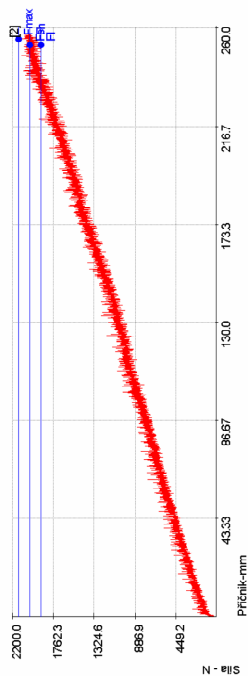
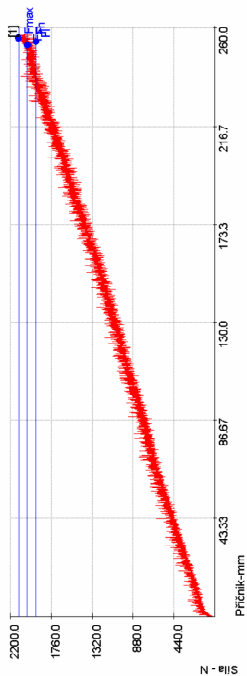
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo : Anticort380239-LV    Kontaktní plocha : 78 mm x 40 mm  
Množství maziva : 1,5g/m2    Rychlost posuvu : 1 mm/s  
Testovaný substrát : HDG    Varianta : 1B  
Drsnost povrchu : Ra=1,36/1,23µmPC=70/831/cm    Teplota : 40 °C  
Materiál nástroje : GGG70L    Rychlost snímání dat : 2kHz  
Kontaktní tlak : kont.tlak 3MPa    Měřená délka : 100mm

Výstupní hodnoty

Značka	Fmax N	Fs N	Fl N	Rh N	cellaF N
1	2110	2016	1808	2110	184
2	2133	2013	1830	2133	239
3	2271	2163	2034	2271	238
4	2163	2082	2001	2168	183
x	2177	2066	1894	2174	211
s	71,66	66,50	65,19	71,32	31,35



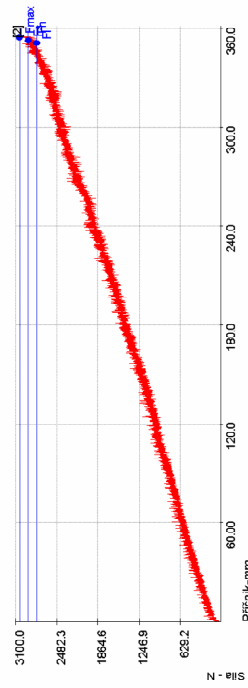
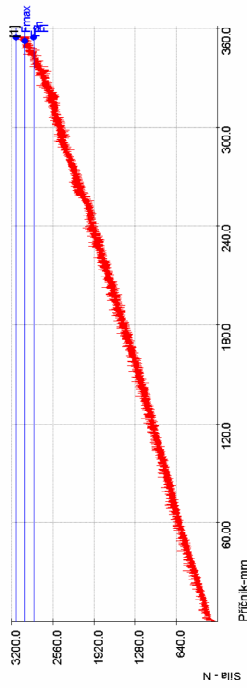
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo : Anticort380239-LV    Kontaktní plocha : 78 mm x 40 mm  
Množství maziva : 1,5g/m2    Rychlost posuvu : 1 mm/s  
Testovaný substrát : HDG    Varianta : 1B  
Drsnost povrchu : Ra=1,36/1,23µmPC=70/831/cm    Teplota : 40 °C  
Materiál nástroje : GGG70L    Rychlost snímání dat : 2kHz  
Kontaktní tlak : kont.tlak 4MPa    Měřená délka : 100mm

Výstupní hodnoty

Značka	Fmax N	Fs N	Fl N	Rh N	cellaF N
1	3132	2995	2857	3132	274
2	3099	2913	2787	3099	252
3	3204	2917	2163	3080	827
4	3179	2512	2064	2859	895
x	3138	2759	2465	3053	887
s	72,77	231,37	414,67	72,82	374,68



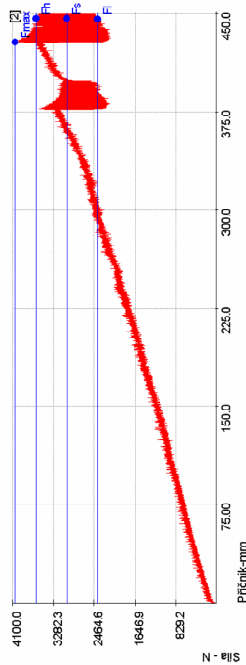
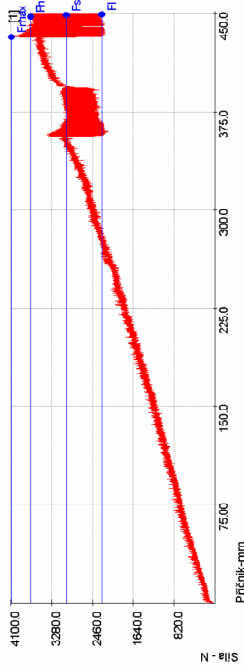
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticort380239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství/maziva: 1,5g/m2      Rychlost posuvu: 1mm/s  
Testovaný substrát: HDG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/831/cm      Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: konitlak 5MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fl N	Rh N	dellaF N
1	4088	2986	2389	3703	1434
2	4054	3013	2366	3631	1296
3	4200	3043	2079	4007	1926
4	3171	3866	3541	3171	290
x	4028	3175	2571	3778	1207
s	182,30	321,67	866,49	183,07	719,54



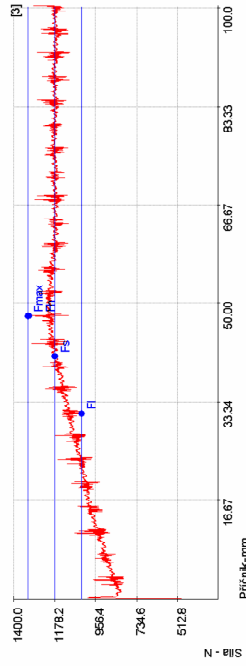
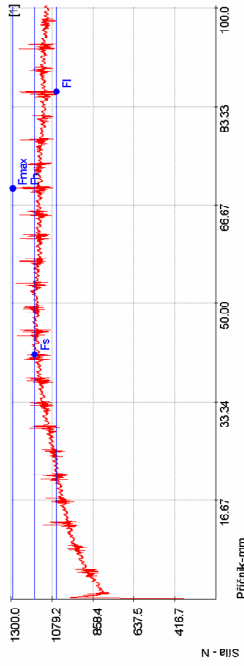
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticort380239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství/maziva: 1,5g/m2      Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: HDG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/831/cm      Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 2MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fl N	Rh N	dellaF N
1	1260	1172	1056	1200	235
2	1302	1147	962	1302	311
3	1321	1178	1032	1321	290
4	1297	1152	1006	1297	281
5	1266	1190	1025	1266	270
6	1266	1132	969	1266	327
x	1300	1157	1073	1300	287
s	10,91	16,41	30,56	10,91	32,07



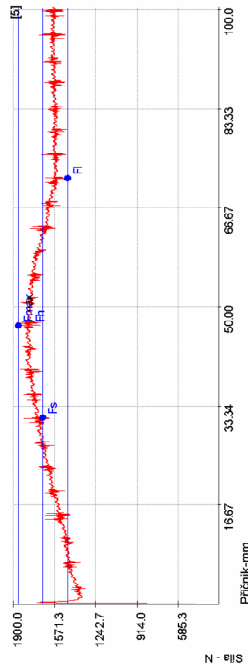
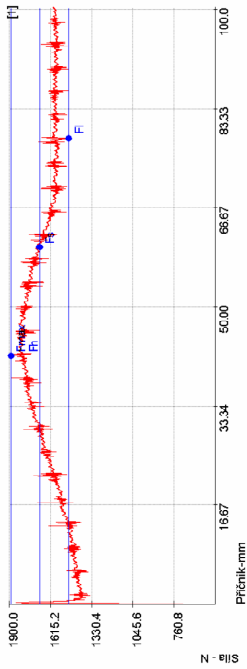
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticorit30239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2      Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: HDG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/831fcm      Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 3MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	F <sub>h</sub> N	delatF N
1	1688	1693	1486	1388	369
2	1686	1682	1436	1386	427
3	1691	1661	1430	1391	460
4	1676	1639	1429	1350	420
5	1683	1665	1467	1363	368
6	1685	1683	1441	1385	444
x	1678	1682	1446	1374	424
s	1174	1631	2332	1635	2519



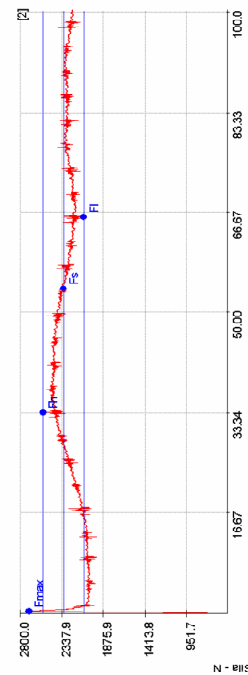
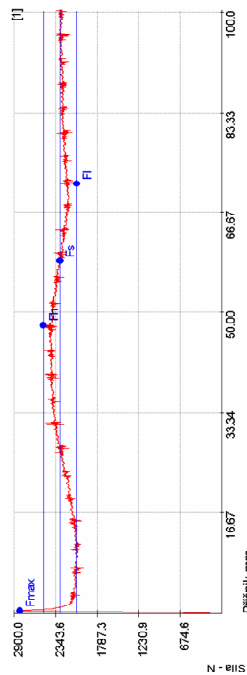
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticorit30239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2      Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: HDG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/831fcm      Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 4MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	F <sub>h</sub> N	delatF N
1	2823	2784	2359	2539	450
2	2706	2321	2394	2548	454
3	2607	2719	1985	2554	571
4	2883	2775	2351	2498	448
5	2807	2382	2349	2515	466
6	2718	2239	1976	2493	507
x	2724	2278	2337	2520	483
s	11246	2616	4405	3082	4846

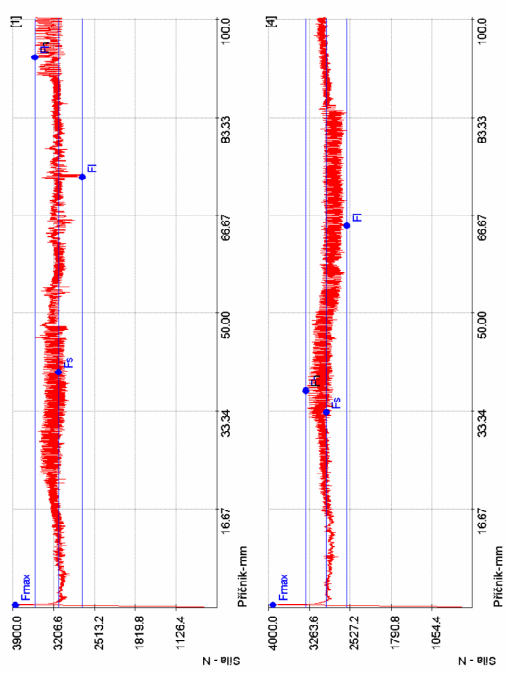


Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticor380239-LV    Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2    Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: HDG    Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/831/cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 5MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	R <sub>h</sub> N	delta F N
1	3856	3120	2715	3525	810
2	3893	2846	2253	3039	769
3	3888	2891	2538	3344	708
4	3918	2856	2588	3326	740
5	4047	2953	2585	3332	738
6	3930	2891	2564	3357	763
x	3885	2823	2542	3304	762
s	14150	15540	15416	15918	40108

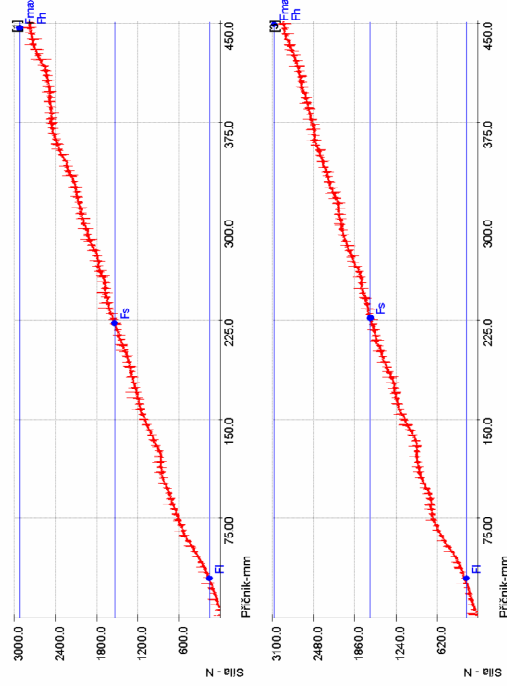


Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticor380239-LV    Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2    Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: HDG    Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/831/cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: 0 - 5 MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	R <sub>h</sub> N	delta F N
1	2922	1536	150	2922	2773
2	2926	1533	141	2926	2785
3	3074	1623	172	3074	2902
4	2635	1515	199	2636	2639
x	2939	1562	165	2938	2776
s	6915	4622	2458	6915	10755



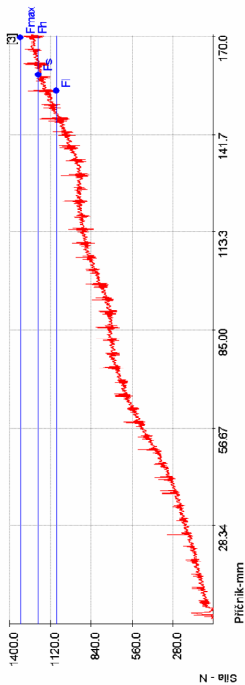
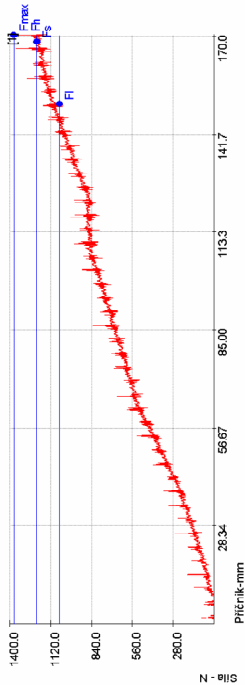
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticort380235-LV    Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2    Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: HDG    Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/831/cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: konti tlak 2MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	R <sub>h</sub> N	delta F N
1	1373	1216	1059	1373	314
2	1275	1147	1019	1275	255
3	1338	1203	1080	1338	246
4	1325	1188	1050	1325	275
x	1325	1188	1052	1325	273
s	40.17	29.82	25.01	40.17	30.38



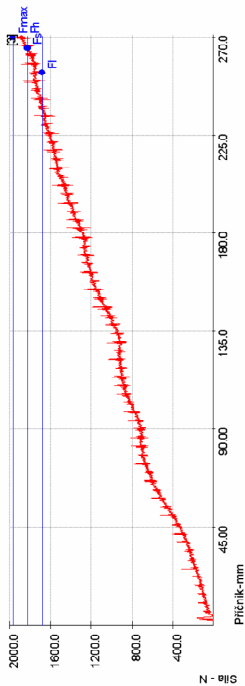
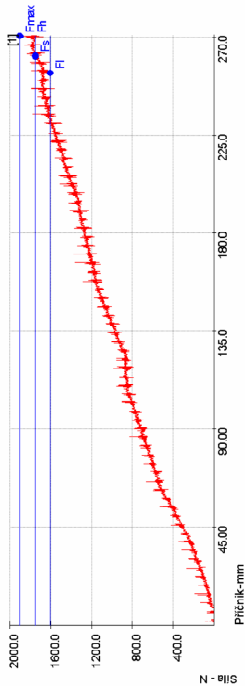
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticort380235-LV    Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2    Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: HDG    Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/831/cm    Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L    Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: konti tlak 3MPa    Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F <sub>max</sub> N	F <sub>s</sub> N	F <sub>i</sub> N	R <sub>h</sub> N	delta F N
1	1901	1753	1604	1901	298
2	1880	1734	1607	1880	253
3	1897	1824	1682	1897	266
4	1931	1752	1654	1931	277
x	1915	1776	1637	1915	278
s	45.46	40.70	37.73	45.46	19.30





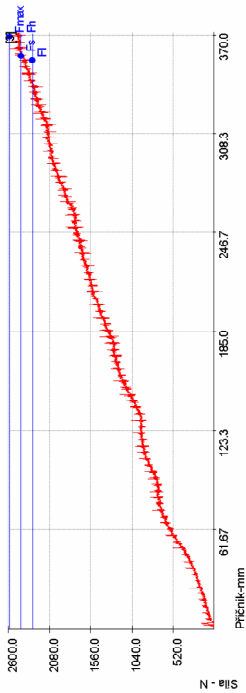
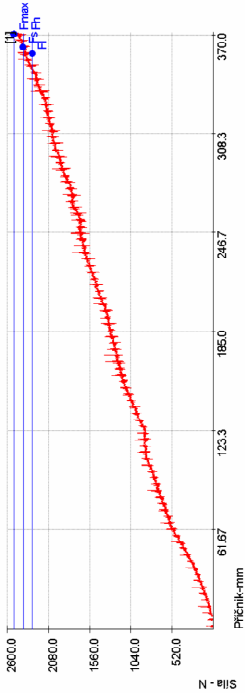
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticort380239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2      Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: HDG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/83 1/cm      Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: konitlak 4MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fl N	Fh N	deltaF N
1	2514	2389	2282	2514	232
2	2452	2322	2191	2452	261
3	2587	2443	2300	2587	287
4	2553	2183	2009	2556	350
x	2478	2337	2185	2478	293
s	98,96	113,34	133,31	98,96	50,10



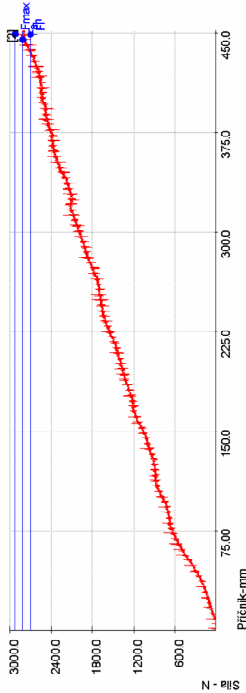
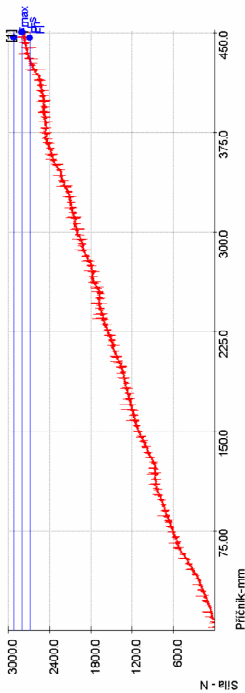
Tribologie - Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo: Anticort380239-LV      Kontaktní plocha: 78 mm x 40 mm  
Množství maziva: 1,5g/m2      Rychlost posuvu: 10mm/s  
Testovaný substrát: HDG      Varianta: 1B  
Drsnost povrchu: Ra=1,36/1,23µm PC=70/83 1/cm      Teplota: 40°C  
Materiál nástroje: GGG70L      Rychlost snímání dat: 2kHz  
Kontaktní tlak: konitlak 5 MPa      Měřená délka: 100mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	Fmax N	Fs N	Fl N	Fh N	deltaF N
1	2922	2806	2688	2922	234
2	2926	2814	2701	2926	225
3	3074	2925	2776	3074	288
4	2936	2484	2148	2920	673
x	2936	2757	2573	2936	357
s	98,15	189,60	286,62	104,25	212,71



## **PROHLÁŠENÍ**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60- školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 25.5.2007

Podpis:

## **DECLARATION**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 25.5.2007

Signature: